INM Nr1/1999

E8225.
FF
8 000001 093645

metrologie

SUMMARY

DRAGOŞ BOICIUC, ELENA DUGHEANU, RODICA CRAMARESCU: The national standard for the unit of length 2

ALEXANDRU DUŢĂ, FLORICA BOTGROS, LUCIAN GROZEA, DRAGOŞ BOICIUC: The national standard for the unit of plan angle 8

RODICA CRAMARESCU, ELENA DUGHEANU, DRAGOŞ BOICIUC: Interference measuring methods for great lengths 15

DRAGOŞ BOICIUC, ELENA DUGHEANU, RODICA CRAMARESCU: The hierachisation scheme of the standards in the filed of length measurement 23

ALEXANDRU DUŢĂ: The hierarchisation scheme of plane angle measuring means 27

INFORMATION

SOMMAIRE

DRAGOŞ BOICIUC, ELENA DUGHEANU, RODICA CRAMARESCU: L'étalon national pour l'unité de longueur 2

ALEXANDRU DUŢĂ, FLORICA BOTGROS, LUCIAN GROZEA, DRAGOŞ BOICIUC: L'étalon national pour l'unité d'angle plan 8

RODICA CRAMARESCU, ELENA DUGHEANU, DRAGOŞ BOICIUC: Méthodes de mesurage à interférence pour les grands longueurs 15

DRAGOŞ BOICIUC, ELENA DUGHEANU, RODICA CRAMARESCU: Le schéma d'hiérarchisation des étalons dans le domaine de mesurage des longueurs 23

ALEXANDRU DUŢĂ: Le schéma de hiérarchisation des moyens de mesurage pour l'angle plan . . . 27

INFORMATIONS

REDACŢIA

INSTITUTUL NAŢIONAL DE METROLOGIE

Şos. Vitan-Bârzeşti nr. 11, sector 4, tel. 3344020
şi 3345520/191; Bucureşti; 75669

ISSN 1200-546 X

EDIŢIE REALIZATĂ SUB ÎNGRIJIREA

Editurii Tehnice

Piaţa Presei Libere 1, sector 1, Bucureşti, cod poştal 71341,
tel. 222.66.30, fax 224.21.64

Cererile pentru abonamente vor fi adresate Editurii Tehnice S.A., Biroul de comenzi şi desfacere,
Bucureşti, str. Oteteleşeanu nr. 1, sector 1, cod poştal 70702. tel. 315.88.66
cont virament 303681801 BCR sector 1.
Costul unui abonament anual este 62 000 lei.

INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁR

METROLOGIE

Publicaţie tehnico-ştiinţifică

editată de

INSTITUTUL NAŢIONAL DE METROLOGIE

SUMAR

DRAGOŞ BOICIUC, ELENA DUGHEANU, RODICA CRAMARESCU: Etalonul naţional al unităţii de lungime 2

ALEXANDRU DUŢĂ, FLORICA BOTGROS, LUCIAN GROZEA, DRAGOŞ BOICIUC: Etalonul naţional al unităţii de unghi plan 8

RODICA CRAMARESCU, ELENA DUGHEANU, DRAGOŞ BOICIUC: Metode de măsurare interferenţială a lungimilor mari 15

DRAGOŞ BOICIUC, ELENA DUGHEANU, RODICA CRAMARESCU: Schema de ierarhizare a etaloanelor din domeniul lungimi 23

ALEXANDRU DUŢĂ: Schema de ierarhizare a mijloacelor de măsurare a unghiului plan 27

INFORMAŢII

*
* *

Colectivul de redacţie: dr. ing. fiz. Dragoş Boiciuc (*redactor responsabil*), Viorica Burciu (*secretar de redacţie*), dr. ing. chim. Mirella Buzoianu, ing. Gabriel Iordăchescu, fiz. Gheorghe Ispăşoiu, dr. ing. Aurel Millea, ing. Ionel Urdea.

Etalonul național al unității de lungime

Dragoș BOICIUC[*)]
Elena DUGHEANU[**)]
Rodica CRAMARESCU[**)]

Abstract: *The paper presents the national standard for the unit of length of Romania, which is a single frequency He-Ne laser manufactured by Dr. Hoppe company, under license from PTB Braunschweig, Germany, whose wavelength is stabilized by the saturated absorption of radiation in I^{127} vapors, in a cell placed in the laser resonator.*

Résumé: *On présente l'étalon national pour l'unité de longueur, qui est un laser à He-Ne à fréquence unique, fabriqué par la firme Dr. Hoppe, basé sur une license de PTB Braunschweig, Germany, qui rend stable la longueur d'onde par l'absorbtion saturée du rayonnement dans des vapeurs de I^{127} dans une cellule à l'interieur du resonateur laser.*

1 Introducere

Etalonul național al unității de lungime este un laser He-Ne monofrecvență care realizează stabilizarea lungimii de undă prin absorbție saturată a radiației în vapori de Iod 127, într-o celulă aflată în interiorul rezonatorului laser.

Laserul etalon național de lungime, denumit **INM-2**, este fabricat de firma Dr. HOPPE sub o licență a Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB din Braunschweig – Germania. După fabricație laserul a fost testat și intercomparat cu etalonul național de lungime din Laboratorul 4.31 "Längeneinheit" al PTB, care a emis certificatul de etalonare.

De altfel, radiațiile laser stabilizate în frecvență pot ocupa diferite poziții în schema de transmitere a unității de lungime, de la etalon primar până la etalon de lucru, în funcție de performanțele lor metrologice (reproductibilitatea, monocromaticitatea și stabilitatea frecvenței radiației emise). Totodată laserul este utilizat în aparate de măsurat distanțe, viteze și unghiuri ca sursă care generează unitatea de lungime în vederea comparării ei cu distanța măsurată.

2 Definiția unității de măsură a lungimii

Definiția unității de lungime a fost adoptată la cea de-a 17-a Conferință Generală de Măsuri și Greutăți (CGPM) [1] care, în conformitate cu Rezoluția 1, are următorul conținut: **"Metrul este lungimea drumului parcurs de lumină, în vid, într-un interval de timp de 1/299 792 458 dintr-o secundă".** Definiția metrului în vigoare din 1960, bazată pe tranziția între nivelurile $2p_{10} - 5d_5$ ale atomului de ^{86}Kr este abrogată.

În cadrul celei de-a 2-a rezoluții, Comitetul Internațional de Măsuri și Greutăți (CIPM) a recomandat ca metrul să fie realizat prin următoarele metode:

a) Cu ajutorul lungimii *l* a drumului parcurs în vid, de o undă electromagnetică plană în timpul *t*; această lungime este obținută pornind de la măsurarea duratei *t*, folosind relația:

$$l = c \times t$$

și valoarea vitezei luminii în vid $c = 299\,792\,458$ m/s;

b) Cu ajutorul lungimii de undă în vid a unei unde electromagnetice plane de frecvența *f*; această lungime de undă este obținută pornind de la măsurarea frecvenței *f* și utilizând relația:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

unde:

c valoarea vitezei luminii în vid, arătată anterior;

---

*) Director, Institutul Național de Metrologie
**) Cercetători, Institutul Național de Metrologie, șos. Vitan Bârzești nr. 11, sector 4, București.

c) Cu ajutorul uneia din radiațiile recomandate de Comitetul Internațional de Măsuri și Greutăți, radiații pentru care se poate utiliza valoarea dată a lungimii de undă în vid sau a frecvenței cu incertitudinea indicată, cu condiția respectării indicațiilor specifice și a modului de lucru corespunzător.

Aceste radiații au fost studiate în continuare de laboratoarele de metrologie dezvoltate și de Biroul Internațional de Măsuri și Greutăți (BIPM). În 1992, CIPM, la cea de-a 81-a sesiune, prin Recomandarea a 3-a [2] a prevăzut revizuirea punerii în practică a definiției metrului adoptată de a 17-a CGPM din 1983, a adoptat noi radiații etalon și a definit mai exact valorile frecvențelor și incertitudinile relative ale radiațiilor laserelor aservite, recomandate ca etaloane de lungime.

3 Descrierea laserului etalon național de lungime

Laserul etalon național de lungime este un laser He-Ne monofrecvență format din blocul laser și blocul electronic de alimentare, reglare și stabilizare a frecvenței. Stabilizarea lungimii de undă se realizează prin absorbție saturată a radiației în vapori de Iod 127 într-o celulă aflată în interiorul rezonatorului laser.

Laserul etalon național de lungime INM-2 (fig. 1) este format dintr-o structură (3) din trei bare din zerodur, material care prezintă o mare stabilitate în timp și un coeficient de dilatare liniară foarte mic, care susține suporturile reglabile (4) ale oglinzilor (6) ale rezonatorului laser [3]. Tubul laser He-Ne (1) și cuva (2) cu vapori de $^{127}I_2$ sunt montate în interiorul rezonatorului. Oglinzile laser sunt fixate pe inele din piezo-ceramică (5) care permit modularea lungimii cavității rezonante, precum și ajustarea lungimii cavității rezonante pentru controlul frecvenței de oscilație laser. Celula cu iod este prevăzută cu un "deget" (8) care este răcit la temperatura de (15 ± 0,5) °C, pentru ca iodul să se găsească într-o stare energetică bine determinată și pentru ca vaporii săi să nu se condenseze pe ferestrele de ieșire ale cuvei. Răcirea se realizează cu o celulă cu elemente Peltier (9). Tubul laser și celula cu iod se aliniază cu ajutorul suporturilor ajustabile (10) și (11). În

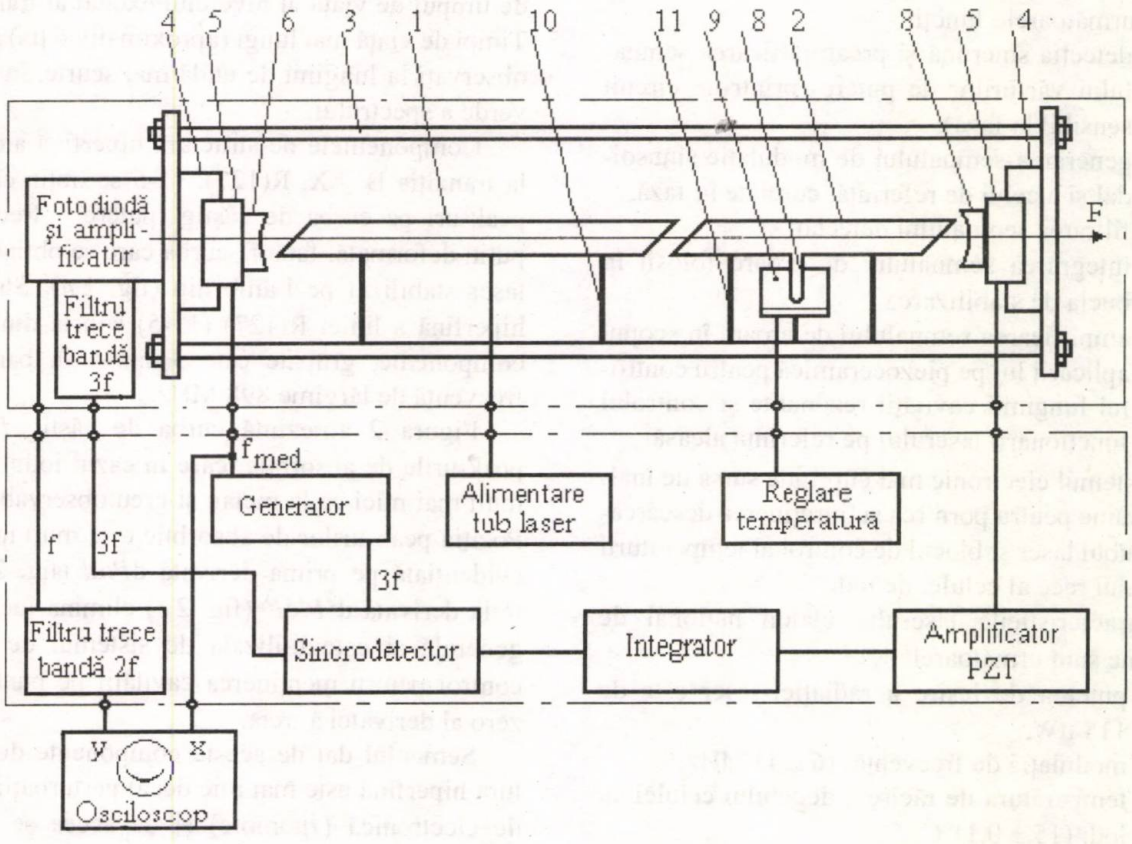


Fig. 1 Schema bloc a laserului He-Ne stabilizat pe $^{127}I_2$

partea din spate a cavității laserului se găsește un fotodetector pentru reglarea automată a stabilizării frecvenței.

Lungimea cavității rezonante este de 350 mm și este formată din două oglinzi laser cu razele de curbură R_1 = 600 mm și R_2 = 1000 mm, cu un coeficient de transmisie de 0,9%. Celula cu vapori de iod este construită din cuarț cu ferestrele sudate și are lungimea de 80 mm.

Laserul este prevăzut cu un sistem electronic care funcționează după metoda derivatei a treia. Această metodă constă în modularea lungimii cavității rezonante pe o frecvență în domeniul audio și prelucrarea semnalului detectat pe armonica a treia a frecvenței de modulație. În acest mod vârfurile de putere care apar ca urmare a fenomenului de absorbție saturată pe frecvențele liniilor de structură hiperfină a iodului pentru tranziția R(127) 11-5, devin independente de fond și derivata a treia a acestor profile oferă ca punct de referință a funcționării laserului, punctul de trecere prin zeroul fiecărei linii, treceri care au avantajul că nu prezintă ambiguități, datorită antisimetriei profilului.

Sistemul electronic, prin blocurile sale, realizează următoarele funcții:

- detecția sincronă și preamplificarea semnalului vârfurilor de putere (printr-un circuit sensibil la fază),
- generarea semnalului de modulație sinusoidal și a celui de referință, corelate în fază,
- filtrarea semnalului detectat,
- integrarea semnalului de eroare folosit în bucla de stabilizare,
- amplificarea semnalului de eroare în scopul aplicării lui pe piezoceramică pentru controlul lungimii cavității rezonante și controlul funcționării laserului pe referința aleasă.

Sistemul electronic mai cuprinde sursa de înaltă tensiune pentru pornirea și întreținerea descărcării în tubul laser și blocul de control al temperaturii degetului rece al celulei de iod.

Caracteristicile laserului etalon național de lungime sunt următoarele:

- puterea de ieșire a radiației laser este de 115 μW,
- modulația de frecvență: (6 ± 1) MHz,
- temperatura de răcire a degetului celulei cu iod: (15 ± 0,1)°C,
- lungimea de undă în vid a componentei "*i*": $\lambda_{vac(comp."i")}$ = 0,632 991 398 22 μm
- frecvența componentei "*i*": $f_{(comp."i")}$ = 473 612 214,705 MHz,
- incertitudinea relativă : $2{,}5 \times 10^{-11}$
- stabilitatea frecvenței laserului, în valoare relativă: $\pm 5 \times 10^{-11}$
- timp de intrare în regim: cca 15 min.

4 Componentele de structură hiperfină ale moleculei de $^{127}I_2$

Avantajele pe care le prezintă iodul molecular, ca: presiunea moderată a vaporilor la temperatura camerei, spectrul de absorbție foarte puternic, fluorescența luminoasă în domeniul vizibil al spectrului și posibilitatea de a atinge absorbția saturată la intensități adecvate ale fasciculului laser pentru multe tranziții de rotație-vibrație ale stărilor electronice B – X, fac ca această moleculă să fie preferată pentru stabilizarea laserului cu ajutorul tehnicii detecției armonicii a treia.

Fiecare din liniile de rotație – vibrație lărgite Doppler ale izotopului $^{127}I_2$, cu momentul nuclear I = 5/2, conține 15 componente hiperfine (pentru seria *P*) sau 21 (pentru seria *R*) din banda de aproximativ 900 MHz, lățimea liniei fiind determinată de timpul de viață al nivelului excitat al tranziției. Timpi de viață mai lungi (aproximativ 6 μs) au fost observați la lungimi de undă mai scurte, în partea verde a spectrului.

Componentele de structură hiperfină ale $^{127}I_2$ la tranziția B – X, R(127), 11-5 se obțin ca niște peak-uri pe curba de câștig (putere – frecvență) puțin deformată, față de curba care se obține la un laser stabilizat pe Lamb dip (fig. 2 *a*). Structura hiperfină a liniei R(127) (11-5) constă din 21 de componente, grupate câte 3 sau 4 în banda de frecvență de lărgime 898 MHz.

Figura 2 aprezintă curba de câștig $P(l)$ cu peak-urile de absorbție, care în cazul iodului sunt mult mai mici ca la metan și greu observabile [4]. Poziția peak-urilor de absorbție este mult mai clar evidențiată pe prima derivată dP/dl (fig. 2 *b*). A treia derivată d^3P/dl^3 (fig. 2 *c*) elimină înclinarea generală și este utilizată de sistemul de servocontrol pentru menținerea cavității pe punctul de zero al derivatei a treia.

Semnalul dat de aceste componente de structură hiperfină este mai mic decât perturbațiile date de electronică (zgomote) și de aceea se face o detecție sincronă și se ia derivata a 3-a a funcției, pentru a localiza exact centrul liniei de absorbție.

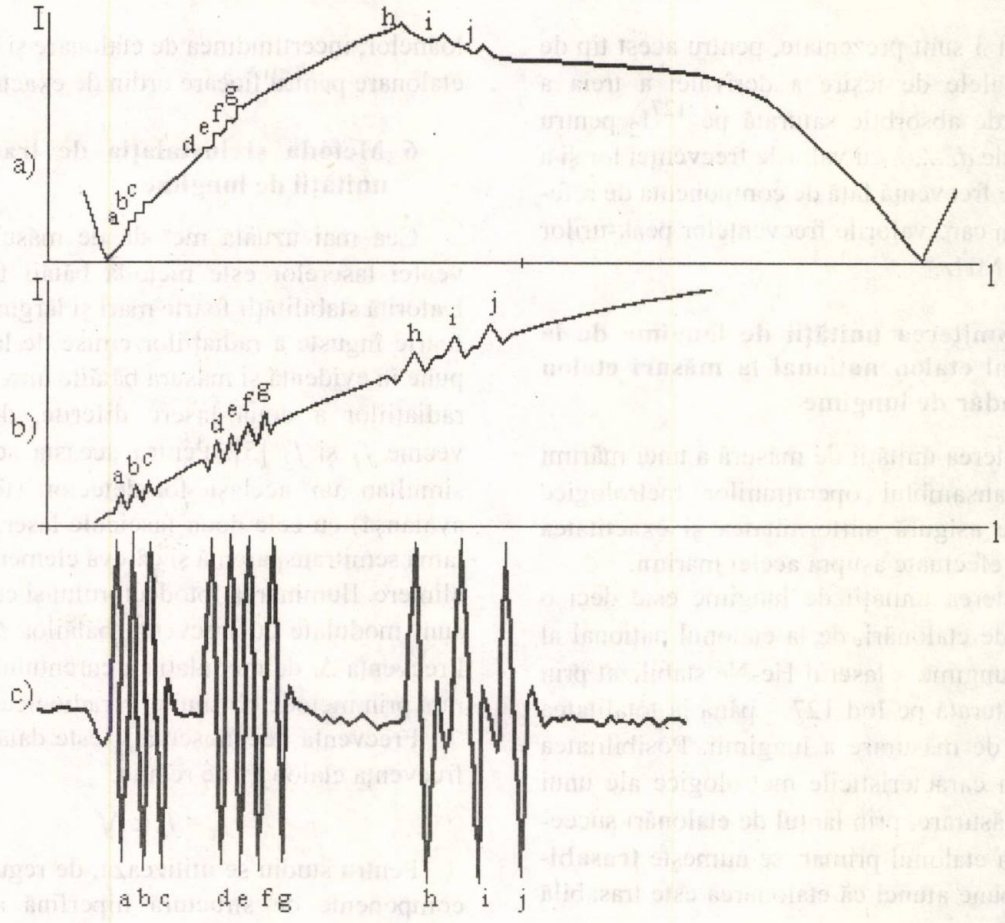
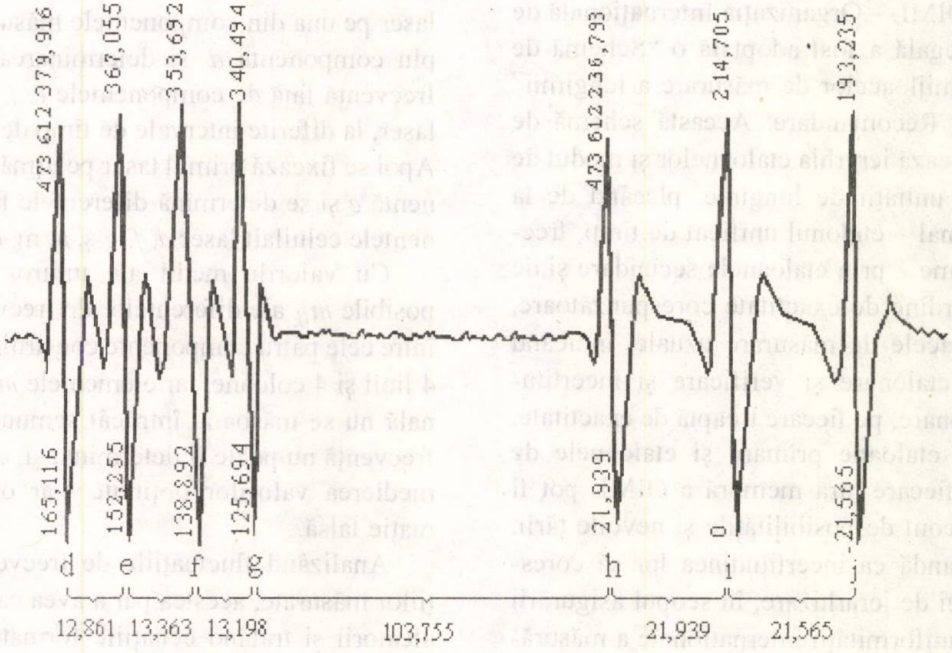


Fig. 2 Componentele de structură hiperfină ale $^{127}I_2$



Referință: componenta i (a_{13}), f = 473 612 214,705 MHz Unitatea de măsură: MHz

Fig. 3 Componentele de structură hiperfină a $^{127}I_2$ la tranziția B - X, R(127) 11 - 5

În figura 3 sunt prezentate, pentru acest tip de laser, semnalele de ieşire a derivatei a treia a peak-urilor de absorbţie saturată pe $^{127}I_2$ pentru componentele *d*, ..., *j*, cu valorile frecvenţei lor şi a diferenţei de frecvenţă faţă de componenta de referinţă *i* [4], în care valorile frecvenţelor peak-urilor sunt date în MHz.

5 Transmiterea unităţii de lungime de la laserul etalon naţional la măsuri etalon secundar de lungime

Transmiterea unităţii de măsură a unei mărimi reprezintă ansamblul operaţiunilor metrologice prin care se asigură uniformitatea şi exactitatea măsurărilor efectuate asupra acelei mărimi.

Transmiterea unităţii de lungime este deci o succesiune de etalonări, de la etalonul naţional al unităţii de lungime – laserul He-Ne stabilizat prin absorbţie saturată pe Iod 127 – până la totalitatea mijloacelor de măsurare a lungimii. Posibilitatea de a raporta caracteristicile metrologice ale unui mijloc de măsurare, prin lanţul de etalonări succesive, până la etalonul primar, se numeşte **trasabilitate**. Se spune atunci că etalonarea este trasabilă la etalonul primar.

Pentru transmiterea unităţii de lungime, în multe ţări există "Scheme de transmitere a unităţii", iar în cadrul OIML – Organizaţia Internaţională de Metrologie Legală a fost adoptată o "Schemă de ierarhizare a mijloacelor de măsurare a lungimii" sub formă de Recomandare. Această schemă de ierarhizare fixează ierarhia etaloanelor şi modul de transmitere a unităţii de lungime, plecând de la etalonul naţional – etalonul unificat de timp, frecvenţă şi lungime – prin etaloanele secundare şi de referinţă de ordine de exactitate corespunzătoare, până la mijloacele de măsurare uzuale, indicând metodele de etalonare şi verificare şi incertitudinile de etalonare, pe fiecare treaptă de exactitate.

Genul de etaloane primare şi etaloanele de referinţă din fiecare ţară membră a OIML pot fi fixate ţinând cont de posibilităţile şi nevoile ţării, dar se recomandă ca incertitudinea lor să corespundă schemei de ierarhizare, în scopul asigurării exactităţii şi uniformităţii internaţionale a măsurărilor.

În ţara noastră s-a elaborat **"Schema de transmitere a unităţii de lungime"** sub formă de normă de metrologie în care este prevăzută ierarhia etaloanelor, incertitudinea de etalonare şi metodele de etalonare pentru fiecare ordin de exactitate [6].

6 Metoda şi instalaţia de transmitere a unităţii de lungime

Cea mai uzuală metodă de măsurare a frecvenţei laserelor este metoda bătăii frecvenţelor. Datorită stabilităţii foarte mari şi lărgimii spectrale foarte înguste a radiaţiilor emise de lasere se pot pune în evidenţă şi măsura bătăile între frecvenţele radiaţiilor a două lasere diferite, de frecvenţe vecine f_1 şi f_2 [5]. Pentru aceasta se luminează simultan un acelaşi fotodetector (fotodiodă în avalanşă) cu cele două fascicule laser, utilizând o lamă semitransparentă şi câteva elemente optice de aliniere. Iluminarea fotodectorului şi curentul emis sunt modulate cu frecvenţa bătăilor $\Delta f = f_1 - f_2$. Frecvenţa Δf de modulaţie a curentului este măsurată prin metode obişnuite în radioelectronică.

Frecvenţa necunoscută f_x este dată, funcţie de frecvenţa etalon f_e, de relaţia:

$$f_x = f_e \pm \Delta f \qquad (1)$$

Pentru studiu se utilizează, de regulă, numai 4 componente de structură hiperfină ale $^{127}I_2$ şi anume: *d, e, f, g* şi măsurarea diferenţelor de frecvenţă dintre două lasere se face prin metoda matricială. Această metodă impune fixarea primului laser pe una din componentele măsurate, de exemplu componenta *d*, şi determinarea diferenţei de frecvenţă faţă de componentele *e, f, g* ale celuilalt laser, la diferite intervale de timp de eşantionare τ. Apoi se fixează primul laser pe următoarea componentă *e* şi se determină diferenţele faţă de componentele celuilalt laser *d, f, g* ş. a. m. d.

Cu valorile medii ale tuturor combinaţiilor posibile m_{ik} ale diferenţelor de frecvenţă măsurate între cele patru componente construim o matrice cu 4 linii şi 4 coloane, iar elementele m_{ii} de pe diagonală nu se măsoară, întrucât semnul diferenţei de frecvenţă nu poate fi determinat şi, ca urmare, prin medierea valorilor obţinute s-ar obţine o informaţie falsă.

Analizând fluctuaţiile de frecvenţă ale radiaţiilor măsurate, acestea par a avea caracter de erori aleatorii şi tratând ecuaţiile formate prin metoda celor mai mici pătrate se obţin astfel diferenţele dintre frecvenţele medii ale celor două lasere.

Instalaţia de măsurare a frecvenţei laser prin metoda bătăii de frecvenţă se compune din (fig. 4):

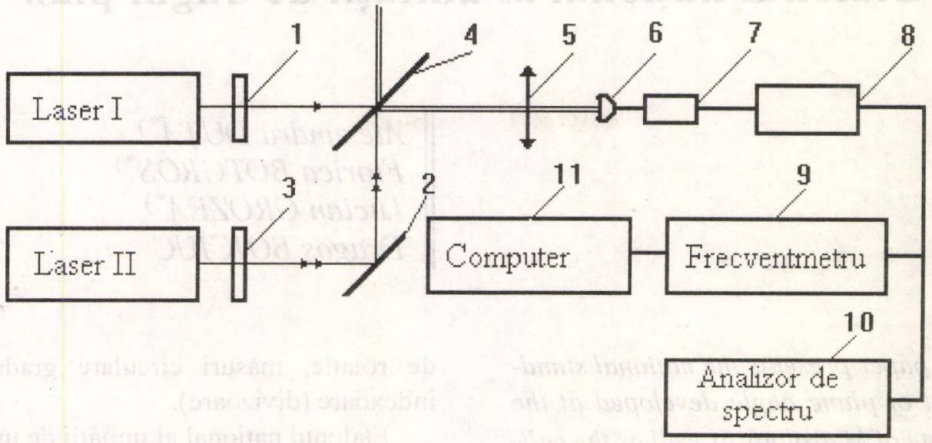


Fig. 4 Instalație de măsurat frecvența laser prin metoda bătăilor de frecvență

I și II – laserele între care se măsoară diferența de frecvență,
1 și 3 – elemente optice de aliniere a fasciculelor laser,
2 – oglindă de întoarcere a fasciculului laser cu posibilitate de rotație pe două axe perpendiculare,
4 – lamă separatoare semitransparentă cu posibilități de rotație pe două axe reciproc perpendiculare (transmisia ≅ 50 %, reflexia ≅ 50 %),
5 – lentilă cu $f = 1$ cm, montată pe o bază magnetică cu tijă culisantă,
6 – fotodiodă în avalanșă, montată pe un suport cu posibilități de reglare x, y, z,
7 – adaptor de impedanță, atenuator în decade,
8 – amplificator de bandă largă (1 GHz, G=20),
9 – frecvențmetru 1,3 GHz cu nivel scăzut de declanșare a numărării,
10 – analizor de spectru, cu bandă de 1 GHz,
11 – computer.

Întreaga instalație este montată pe o placă metalică de masă mare (3 000 kg), cu suspensie pe pernă de aer pentru a reduce nivelul vibrațiilor sub 10 Hz. Toate elementele instalației aflate în drumul razelor laser trebuie montate cu precauții deosebite pentru a elimina orice posibilitate de vibrații.

Atât etalonul național cât și instalația de comparare a frecvențelor laser sunt amplasate într-un laborator termostat la temperatura de $(20 \pm 0{,}5)°C$, aflat în subsolul unei clădiri cu două nivele, în care s-au luat măsuri severe de reducerea prafului și în care nivelul de vibrații este scăzut.

Această metodă permite compararea laserelor de frecvențe apropiate (diferența de frecvență maximă 1 GHz) și, totodată, permite evaluarea ușoară a stabilității și reproductibilității frecvenței laserelor, dar nu pot fi comparate lasere cu frecvențe mult diferite. Intervalele de frecvență măsurate, în cazul laserelor stabilizate în frecvență pe aceeași valoare nominală, sunt cuprinse între 0,1 MHz și 1 GHz.

Pentru compararea lungimilor de undă situate la distanțe mai mari în spectrul vizibil se pot folosi metode de comparare indirecte, prin măsurarea lungimii unei cale plan paralele de lungime cunoscută, folosind un interferometru adecvat. În acest caz va trebui să ținem cont de noile sursele de erori care apar cu această ocazie și să evaluăm incertitudinea de măsurare în noile condiții.

BIBLIOGRAFIE

[1] ***, BIPM Bureau International des Poids et Mesures, Comité International des Poids et Mesures, 1983, 51, 25 – 28.
[2] ***, BIPM Bureau International des Poids et Mesures, Comité Consultatif pour la Definition du Métre (CCDM), Rapport de la 8e session, 1992.
[3] *Boiciuc D.*, Laserul în metrologia lungimilor. Laserul He-Ne radiație măsură de lungime, Metrologie nr. 2/1993.
[4] *D. Boiciuc*, Materializarea definiției metrului în România, Metrologie nr. 2/1994.
[5] *D. Boiciuc*, Teza de doctorat: Laserul în metrologia lungimilor, București,1996.
[6] ***, Schema de transmitere a unității de lungime, București, 1998.

Etalonul național al unității de unghi plan

Alexandru DUȚĂ[*)]
Florica BOTGROS[*)]
Lucian GROZEA[*)]
Dragoș BOICIUC

Abstract: *The paper presents the national standard for the unit of plane angle developed at the National Institute of Metrology as well as the calibration methods for polygons and the results of the calibration of the Hilger-Watts type A 142/35, series I, which is used for the national standards at INM, PTB and SMU.*

Résumé: *On présente l'étalon national d'angle plan réalisé à l'Institut National de Métrologie, aussi que les méthodes d'étallonnement des polygones et les résultats de l'étallonnement du polygone Hilger-Watts, type A 142/35, série I, utilisé pour les étalons nationaux de l'INM, PTB et SMU.*

1 Introducere

În Sistemul Internațional (SI), unghiul plan este o mărime suplimentară a cărei unitate de măsură este radianul (rad), definit ca unghiul la centru descris de un arc de cerc cu lungimea egală cu raza. Pentru măsurarea unghiului plan, Comitetul Internațional de Măsuri și Greutăți (CIPM) admite ca unitate de măsură gradul sexagesimal (°) cu submultiplii: minut sexagesimal (') și secundă sexagesimală (").

Reproducerea unității de unghi plan se realizează prin:

– etalonarea unei scări circulare închise (cerc complet) pentru care suma tuturor unghiurilor intermediare este, fără eroare, egală cu 360°;

– generarea unghiurilor mici prin raportul dintre două lungimi asociat cu o funcție matematică.

Drept scări circulare închise se utilizează poligoane cu 5 ... 72 suprafețe reflectante, traductoare de rotație, măsuri circulare gradate sau mese indexoare (divizoare).

Etalonul național al unității de unghi plan, realizat în cadrul Institutului Național de Metrologie, este constituit dintr-un complex de instalații și măsuri de unghi plan care asigură reproducerea și transmiterea unității de unghi plan în sistemul sexagesimal, pe intervalul 0° ... 360°, în conformitate cu prevederile schemei de ierarhizare a mijloacelor de măsurare a unghiului plan.

Etalonul național al unității de unghi plan este format din următoarele componente:

1. instalația cu două autocolimatoare pentru etalonarea poligoanelor,
2. generatorul de unghiuri mici,
3. set de poligoane etalon.

2 Instalația cu două autocolimatoare pentru etalonarea poligoanelor

Instalația cu două autocolimatoare pentru etalonarea poligoanelor (fig. 1*a* și 1*b*) este alcătuită dintr-o placă de verificare din fontă (5), cu dimensiunile 1 000 × 650 mm, cu masa de 200 kg, care formeaza batiul instalației, asigurând stabilitatea între elementele componente. Placa este prevăzută cu trei șuruburi de calare, în plan orizontal, și se sprijină pe masa de lucru prin intermediul a trei vibrașocuri, pentru atenuarea vibrațiilor. Pe placă sunt fixate două autocolimatoare fotoelectrice, unul mobil A_m (tip ELCOMAT 2 000 cu intervalul de măsurare de 2 000" și valoarea diviziunii de 0,05", fabricație Möller – Wedel Germania) și celălalt fix A_f (tip TA – 53 cu intervalul de măsurare de 10' și valoarea diviziunii de 0,2", fabricație Hilger – Watts). Autocolimatorul mobil se poate roti manual, împreună cu suportul reglabil

*) Institutul Național de Metrologie, șos. Vitan Bârzești nr. 11, sector 4, București.

în care este fixat, cu un unghi de 180°, pe o cale de rulare circulară fixată pe placă. Ambele autocolimatoare pot fi deplasate pe verticală și pot fi orientate în plan vertical și/sau orizontal.

Pentru centrarea și acționarea poligonului (1) instalația este prevăzută cu o masă rotativă (3) alcătuită dintr-un lagăr de mare precizie, un sistem de centrare al poligonului, un sistem de acționare și un traductor inductiv de rotație (2) împreună cu dispozitivul de montare și reglare al acestuia. Masa rotativă poate fi acționată prin intermediul unei transmisii melc – roată melcată. Traductorul inductiv de rotație cuplat la un NUMEROM 303 se utilizează pentru poziționarea poligonului cu exactitatea de 3,6".

Cele doua blocuri electronice ale autocolimatoarelor și blocul NUMEROM sunt montate pe suporți individuali, orientabili, fixați de placa de bază.

Autocolimatorul ELCOMAT este conectat la un calculator printr-o interfață serială, de tip RS 232, care poate opera bidirecțional și în mod duplex. Calculatorul este de tip IBM-PC, comunicația făcându-se prin portul COM1. Ieșirea de date este operativă numai dacă opțiunea "COMPUTER" este prezentă, prin inițializarea transmisă de calcu-

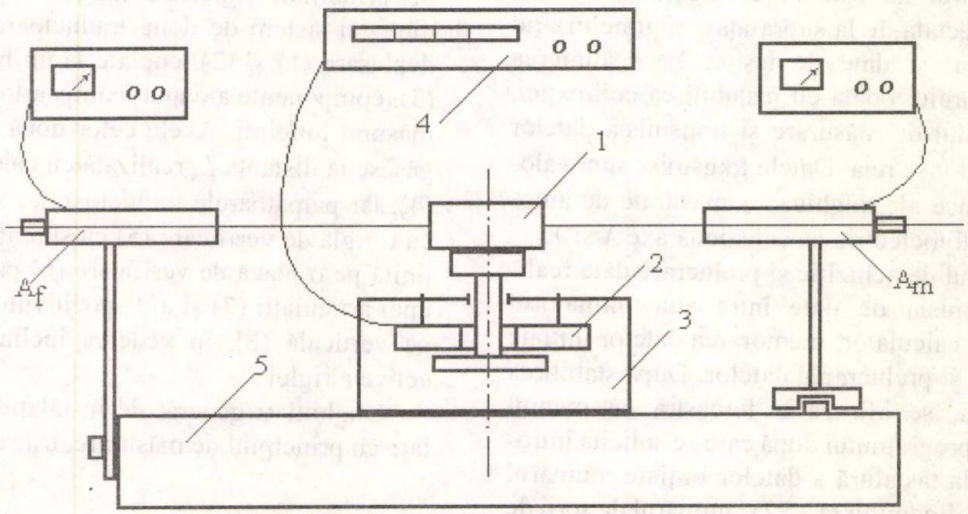


Fig. 1 *a*

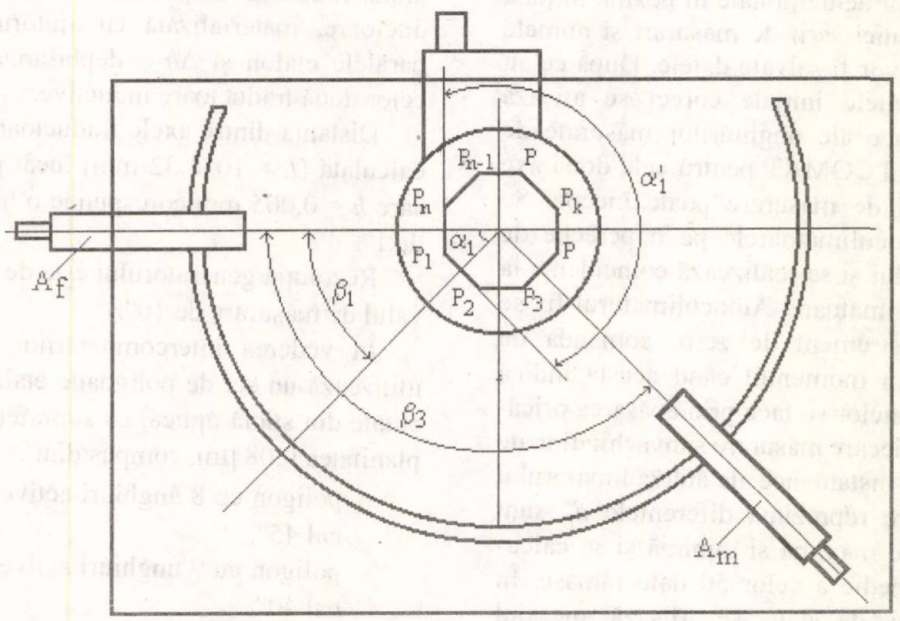


Fig. 1 *b*

lator şi prin apăsarea butonului "COMP" de pe panoul frontal al blocului electronic al autocolimatorului, datele sunt afişate pe display-ul calculatorului şi blocul autocolimatorului afişază "COM. PORT ON LINE". Altfel se afişază că programul nu este disponibil. Activarea portului de date se poate face şi prin program, de către calculator. Dacă ieşirea este activată autocolimatorul trimite datele de măsurare la fiecare 40 milisecunde. Transmisia datelor pentru calculator se face cu o rată de baud de 2400 bd, maximă permisă de autocolimator, cu următorul format: 1 bit de start, 8 biţi de date, fără bit de paritate şi un bit de stop. Dacă autocolimatorul nu este în colimaţie (nu există imagine reflectată de la suprafaţa poligonului), nu există semnal şi date de ieşire. La realinierea autocolimatorului odată cu restabilirea colimaţiei, apare semnalul de măsurare şi transmisia datelor către calculator se reia. Datele transmise sunt valorile instantanee ale unghiurilor măsurate de autocolimatorul fotoelectric pe cele două axe X şi Y.

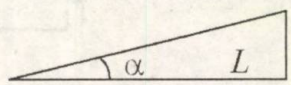
Programul de achiziţie şi prelucrare date realizează transmisia de date între autocolimatorul electronic şi calculator, memorarea datelor iniţiale de măsurare şi prelucrarea datelor. După stabilirea comunicaţiei, se afişază o fereastră cu meniul principal al programului după care se solicită introducerea de la tastatură a datelor iniţiale: numărul de feţe ale poligonului (1...72), numărul de serii de măsurări (1...50), firma producătoare, beneficiar, numărul metodei de etalonare, abaterile maxime în secunde ale datelor achiziţionate în poziţia iniţială după efectuarea unei serii de măsurări şi numele fişierelor în care vor fi salvate datele. După ce au fost introduse datele iniţiale corect se afişază valorile instantanee ale unghiurilor măsurate de autocolimatorul ELCOMAT pentru cele două axe X, Y şi procesul de măsurare poate începe. Se poziţionează autocolimatoarele pe o pereche de feţe ale poligonului şi se realizează coincidenţa la cele două autocolimatoare. Autocolimatorul fix se utilizează ca instrument de zero, comanda de achiziţie se dă în momentul când acesta indică zero. Achiziţia datelor se face prin apăsarea oricărei taste. Pentru fiecare măsurare sunt achiziţionate 52 date (indicaţii instantanee ale autocolimatorului ELCOMAT) care reprezintă diferenţele d_i, sunt eliminate valorile maximă şi minimă şi se calculează valoarea medie a celor 50 date rămase. În timpul achiziţiei de date se afişază mesajul "Aşteptaţi". După efectuarea unei măsurări se afişază şi valoarea unghiului ce urmează a fi poziţionat. La terminarea procesului de măsurare se determină abaterile unghiurilor poligonului faţă de valoarea nominală şi incertitudinea de etalonare pentru fiecare unghi în parte. Datele iniţiale cu seriile de măsurări reprezentând media măsurărilor într-un punct şi datele rezultate din calcul cu abaterile unghiurilor poligonului de la valoarea nominală şi incertitudine de etalonare sunt salvate în două fişiere de tip text.

3 Generatorul etalon de unghiuri mici

Generatorul de unghiuri mici (fig. 2), utilizat pentru etalonarea autocolimatoarelor, este realizat pe principiul riglei de tangentă şi este format dintr-un sistem de două traductoare inductive de deplasare (1) şi (2), cuplate la un bloc diferenţial (3), componente ale unui comparator electronic de măsurat lungimi. Axele celor două traductoare se găsesc la distanţa L, realizată cu cale plan paralele (4), iar palpatoarele traductoarelor sunt în contact cu o riglă de verificare (5) cu suprafaţa plană sprijinită pe o placă de verificare (6) prin intermediul unei articulaţii (7) şi a dispozitivului de deplasare pe verticală (8), în vederea înclinării suprafeţei active a riglei.

Unghiul α generat de instalaţie, în conformitate cu principiul de măsurare, este dat de relaţia:

$$\operatorname{tg}\alpha = \Delta h/L$$



unde: L este distanţa dintre axele celor două traductoare, materializată cu ajutorul calelor plan paralele etalon şi Δh – deplasarea diferenţială a celor două traductoare inductive.

Distanţa dintre axele traductoarelor este astfel calculată (L = 1031,32 mm) încât pentru o deplasare h = 0,005 mm corespunde o înclinare a riglei de 1".

Rezoluţia generatorului este de 0,002" şi intervalul de măsurare de 10".

În vederea intercomparărilor instalaţiilor se utilizează un set de poligoane etalon martor, executate din sticlă optică, cu suprafeţe metalizate cu planitatea 0,08 μm, compus din:

- poligon cu 8 unghiuri active, unghiul nominal 45°,
- poligon cu 9 unghiuri active, unghiul nominal 40°,
- poligon cu 12 unghiuri active, unghiul nominal 30°.

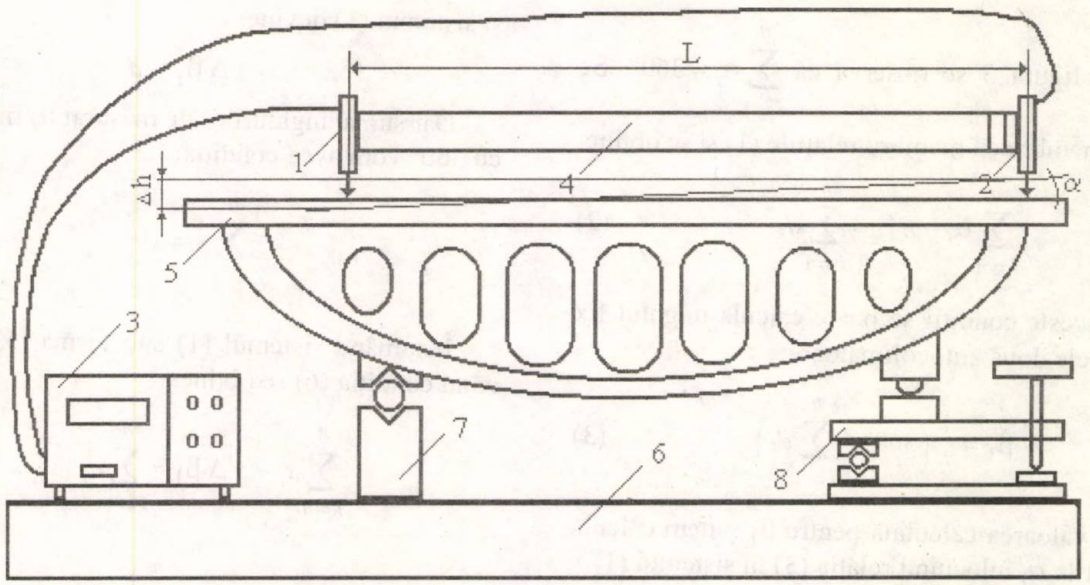


Fig. 2

4 Metoda de etalonare a poligoanelor

Metoda de etalonare a poligoanelor este o metodă absolută, care se bazează pe faptul că suma unghiurilor unui poligon este egală cu 360°. Este metoda autoetalonării. In principiu, măsurarea se realizează prin vizarea pe direcții perpendiculare a fețelor poligoanului etalon cu ajutorul a două autocolimatoare fotoelectrice, unul fix A_f și altul mobil A_m (fig. 3). Prin rotația poligonului în jurul axei sale și prin deplasarea unuia dintre autocolimatoare după un cerc concentric cu axa de rotație a poligonului de măsurat se vizează succesiv toate combinațiile posibile cu două fețe ale poligonului. Din motive de gabarit mișcarea autocolimatorului mobil se poate realiza doar pe 180°; pentru vizarea fețelor corespunzătoare unghiurilor cuprinse între 180° și 360° se inversează sensul de rotație.

Pentru determinarea unghiurilor materializate de un poligon se pot utiliza mai multe variante de măsurare și prelucrare a datelor. Prima variantă de măsurare, care este tratată complet, este mai simplă și mai rapidă dar are o incertitudine mai mare, în timp ce a doua variantă, care este prezentată principial, este o metodă de măsurare mai laborioasă, iar la prelucrarea datelor se folosesc metode matematice de minimizare a erorilor.

4.1 *Varianta de măsurare simplificată*

În cadrul acestei variante se determină unghiurile α_i dintr-un număr minim de determinări, autocolimatoarele A_f și A_m rămân fixe, axele lor materializând unghiul β_1 aproximativ egal cu unghiul dintre două fețe consecutive ale poligonului de măsurat.

În prima poziție autocolimatorul fix A_f vizează fața P_nP_1, iar cel mobil A_m fața P_1P_2, între cele două autocolimatoare realizându-se unghiul β_1 aproximativ egal cu $360°/n$. Diferența indicațiilor autocolimatorului fix și cel mobil reprezintă diferența între unghiul de măsurat α_1 și unghiul dintre autocolimatoare β_1. După luarea în considerare a erorilor sistematice (corecțiile din curbele de etalonare ale autocolimatoarelor) se notează valoarea obținută cu d_1. În continuare se rotește poligonul în sens orar până când autocolimatorul fix A_f vizează fața P_1P_2 iar cel mobil A_m vizează fața P_2P_3. Analog ca la prima poziție se obține diferența indicațiilor celor două autocolimatoare d_2.

Operația se repetă până când autocolimatorul fix A_f va viza fața $P_{n-1}P_n$, iar cel mobil A_m va viza fața $P_{n-2}P_{n-1}$, deci până când se realizează o rotație completă obținându-se toate valorile d_i cu $i = 1, 2, ..., n$. Se obține sistemul de relații de echivalență (1).

$$\begin{aligned} \alpha_1 - \beta_1 &= d_1 \\ \alpha_2 - \beta_1 &= d_2 \\ &\cdots\cdots\cdots \\ \alpha_n - \beta_1 &= d_n \end{aligned} \qquad (1)$$

Din figura 3 se observă că $\sum_{i=1}^{n} \alpha_i = 360°$. Se adună membru cu membru relațiile (1) și se obține:

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i - n\,\beta_i = \sum_{i=1}^{n} d_i \qquad (2)$$

În aceste condiții se poate calcula unghiul fix dintre cele două autocolimatoare:

$$\beta_1 = \frac{1}{n}\left(360° - \sum_{i=1}^{n} d_i\right) \qquad (3)$$

Cu valoarea calculată pentru β_1 putem calcula unghiurile α_i înlocuind relația (3) în sistemul (1):

$$\alpha_i = d_i + \frac{1}{n}\left(360° - \sum_{i=1}^{n} d_i\right) \qquad (4)$$

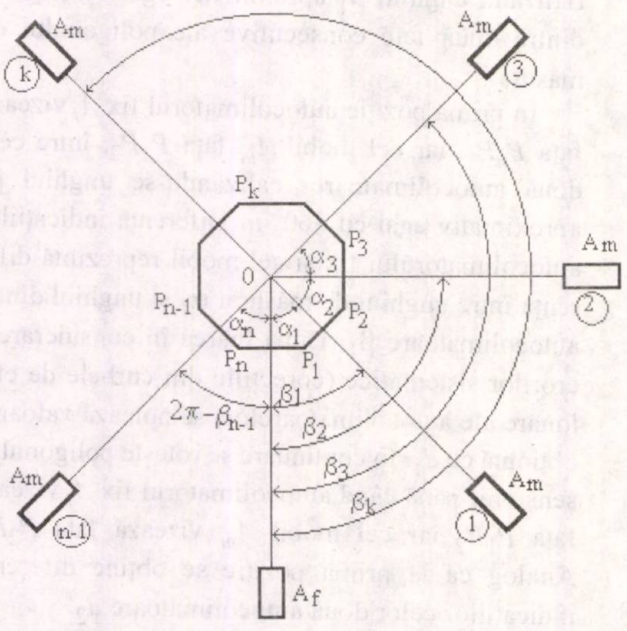


Fig. 3

Dacă considerăm abaterile unghiurilor α_i și β_1 de la valoarea nominală de $360°/n$ și le notăm cu x_i, respectiv Δb_1, atunci:

$$\alpha_i = \frac{360°}{n} + x_i$$

$$\beta_1 = \frac{360°}{n} + \Delta\beta_1$$

și sistemul (1) devine:

$$x_i - \Delta\beta_1 = d_i \qquad (5)$$

Dar suma unghiurilor de măsurat α_i fiind egală cu 360° vom avea condiția:

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 0 \qquad (6)$$

Însumând sistemul (1) sub forma (5) și utilizând condiția (6) se obține:

$$\sum_{i=1}^{n} x_i - n\,\Delta\beta_1 = \sum_{i=1}^{n} d_i$$

$$n\,\Delta\beta_1 = -\sum_{i=1}^{n} d_i$$

deci,

$$\Delta\beta_i = -\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d_i \qquad (7)$$

Utilizând relația (7) și sistemul (5) se determină toate abaterile unghiurilor α_i astfel:

$$x_i = d_i + \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d_i \qquad (8)$$

Evident exactitatea de măsurare crește direct proporțional cu numărul seriilor de măsurări executate. În cazul executării mai multor serii de măsurări se va lua în considerare media aritmetică $\bar{x}_i$ a valorilor individuale x_i determinate cu relația (8).

$$\bar{x}_i = \frac{1}{p}\sum_{k=1}^{p} x_{ik}$$

unde p reprezintă numărul seriilor de măsurări.

4.2 *Varianta de măsurare completă*

Această variantă presupune efectuarea tuturor măsurărilor posibile ale perechilor de două fețe ale poligonului de măsurat prin rotația poligonului în jurul axei sale și prin deplasarea autocolimatorului mobil după un cerc concentric cu axa de rotație a poligonului.

Prin vizare pe două direcții perpendiculare a suprafețelor reflectante P_iP_{i-1} ale poligonului regulat $P_1P_2 \ldots P_n$, cu autocolimatoarele A_f și A_m se măsoară unghiurile α_i cu $i = 1, 2, 3, \ldots, n$. Se execută toate măsurările posibile pentru câte două fețe ale poligonului la $n-1$ rotații complete ale acestuia. Autocolimatorul A_f vizează fața P_1P_n, iar A_m fața P_1P_2 realizându-se unghiul β_1 aproximativ egal cu $360°/n$. Se determină diferența indicațiilor celor două autocolimatoare și după luarea în considerare a erorilor sistematice (corecțiile din curbele de etalonare ale autocolimatoarelor) se notează valoarea obținută cu d_i.

Se vor obține n relații de echivalență de tipul:

$$\begin{aligned} &\alpha_1 - \beta_1 = d_1 \\ &\alpha_2 - \beta_1 = d_2 \\ &\ldots\ldots\ldots \\ &\alpha_n - \beta_1 = d_n \end{aligned} \qquad (9)$$

După terminarea unei rotații complete se deplasează autocolimatorul mobil în poziția 2, corespunzătoare unghiului dintre autocolimatoare β_2, aproximativ egal cu $2(360°/n)$. Autocolimatorul fix va viza fața P_nP_1, iar cel mobil fața P_2P_3. Diferențele indicațiilor celor două autocolimatoare, cu luarea în considerare a erorilor sistematice, după rotația completă secvențială a poligonului cu unghiuri aproximativ egale cu $360°/n$ vor conduce la sistemul:

$$\begin{aligned} &\alpha_1 + \alpha_2 - \beta_2 = d'_1 \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &\alpha_{n-1} + \alpha_n - \beta_2 = d'_{n-1} \\ &\alpha_n + \alpha_1 - \beta_2 = d'_n \end{aligned} \qquad (10)$$

Măsurările se vor continua similar ca la primele două poziții, obținându-se toate sistemele posibile de ecuații. Sistemele de ecuații se rezolvă aplicând metoda celor mai mici pătrate, rezultând valorile abaterilor unghiulare medii de la valorile nominale ale unghiurilor la centrul poligonului.

Corecțiile unghiurilor poligonului se determină cu relația:

$$K_{ij} = -A_{ij} + C_E + C_\gamma + C_\Delta + C_p + C_c$$

în care:

- K_{ij} corecția unghiului dintre suprafețele i și j ale poligonului etalonat,
- A_{ij} abaterile unghiului dintre suprafețele i și j ale poligonului etalonat,
- C_E corecțiile autocolimatorului ELCOMAT,
- C_γ corecții datorate modificării unghiului dintre axele de vizare ale celor două autocolimatoare,
- C_Δ corecții datorate abaterilor de la planitatea suprafețelor reflectante ale poligonului etalonat,
- C_p corecții datorate abaterilor de la perpendicularitatea suprafețelor reflectante ale poligonului pe suprafața de bază (piramidalitatea poligonului),
- C_c corecții datorate impreciziei centrării poligonului pe masa rotativă.

În tabelul 1 este prezentat bugetul de incertitudini întocmit la etalonarea poligonului Hulger – Watts, serie 12, din componența etalonului național al unității de unghi plan.

Incertitudinea extinsă s-a calculat cu relația:

$$U = k\, u_c = 2 \times 0{,}12'' = 0{,}24''$$

Rezultatul corectat și creditat pentru exemplul considerat, este:

$$K_{0-45} = -0{,}25'' \pm 0{,}24''$$

În tabelul 2 și figura 4 sunt prezentate, comparativ, rezultatele etalonării poligonului Hilger – Watts tip A 142/35, serie 1, din componența etalonului național al unității de unghi plan la INM, PTB și SMU.

Tabelul 1

Bugetul de incertitudini

Mărimea X_i	Estimații x_i	Incertitudinea standard $u(x_i)$	Distribuția de probabilitate	Coeficientul de sensibilitate C_i	Incertitudinea parțială $u_i(y)$
A_{ij}	– 0,25"	0,10"	normală	1	0,10"
C_E	0	0,04"	rectangulară	1	0,02"
C_γ	0	0,05"	rectangulară	1	0,06"
C_Δ	0	0,10"	rectangulară	1	0,06"
C_p	0	0,01"	rectangulară	1	0,01"
C_c	0	0,01"	rectangulară	1	0,01"
K_{ij}	– 0,25"				0,12"

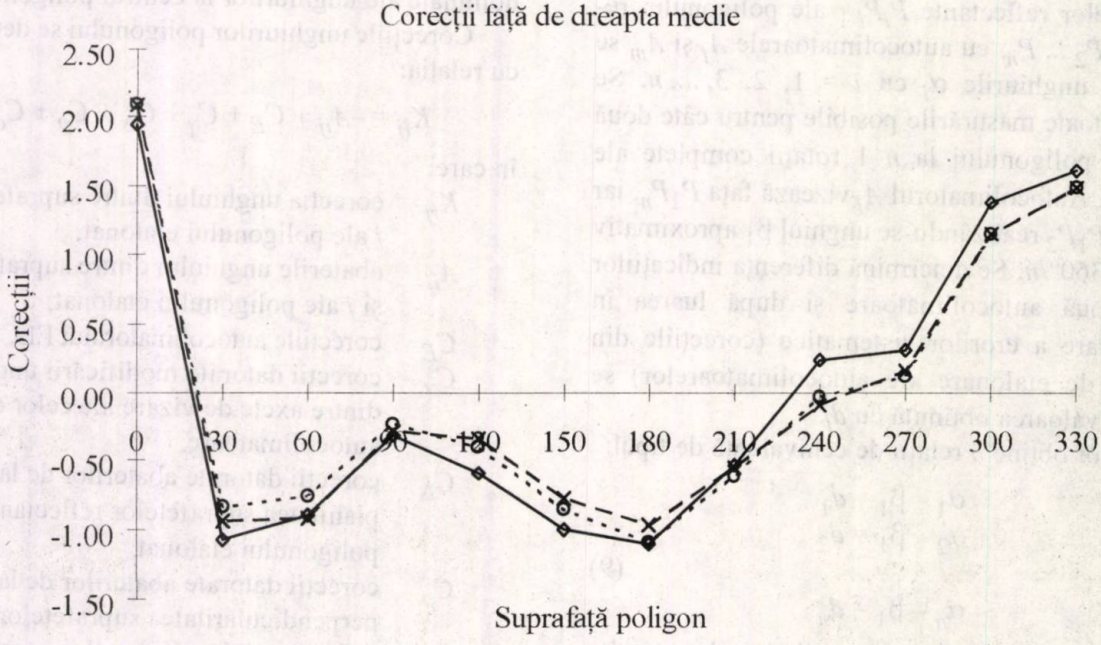


Fig. 4

Tabelul 2

Corecţii faţă de dreapta medie

Suprafaţă poligon	Corecţii INM	Corecţii PTB	Corecţii SMU
	"	"	"
0	1,94	2,08	2,09
30	– 1,07	– 0,94	– 0,84
60	– 0,90	– 0,92	– 0,76
90	– 0,32	– 0,29	– 0,23
120	– 0,60	– 0,34	– 0,41
150	– 1,00	– 0,78	– 0,86
180	– 1,10	– 0,97	– 1,09
210	– 0,54	– 0,56	– 0,62
240	0,24	– 0,09	– 0,03
270	0,31	0,16	0,12
300	1,38	1,15	1,15
330	1,61	1,49	1,49

BIBLIOGRAFIE

[1] BIPM "Comite consultativ pour la definition du metre". Paris 1973, 1983, 1992.

[2] *M. Frennberg*, "International comparison of high-accuracy roundness measurements". Metrologia, 33/1996.

[3] *A. Millea*, "Momente din evoluţia recentă a etaloanelor primare ale unităţilor SI fundamentale" Metrologia aplicată, nr. 1/1988.

[4] OIML – Buletin "Traceability in plane angle measurements – Methods of reproduction of plane angle units". Nr. 2, aprilie 1994.

[5] *I. Brezina*, s.a., "Pozmok ku Kalibracil etalonovych polygonov". Merova Tehnika.

[6] *Cook. A*, "The calibration of circular scales and precision polygons". British Journal of Applied Physics, No.10/1954.

[7] *I. Brezina*, "Zaklady metrologie uhlov (Fundamentals of Angular Metrology)". Alfa/SNTL Bratislava.

[8] *J. Mokroş, I. Brezina*, "Keilkalibrator-eine Messeinrichtung zur Kalibrierung der Ablesehulfsmilttel von Autokolimatoren". Jemna mech.opt.21(1976).

[9] *A. Duţă*, s.a., "Etalon primar pentru reproducerea şi transmiterea unităţii de unghi plan". Metrologia aplicată nr. 2/1981.

Metode de măsurare interferențială a lungimilor mari

Rodica CRAMARESCU
Elena DUGHEANU
Dragoş BOICIUC

Abstract: *The paper presents the interest manifested at the National Institute of Metrology in assuring the traceability of measurements for great lengths, materialized in a 50 m geodetic base used for calibrations and metrological verifications of great lengths measures, tapes, and geodetic wires made of steel, invar or other materials. An analysis of the errors and measurement uncertainty is also presented.*

Résumé: *On présente la preoccupation de l'Institute National de Métrologie pour l'assurance de la traçabilité des mesurages des grandes longueurs, matérialisée dans une base géodésique de 50 m, utilisée pour l'étallonnement et la vérification métrologique des mesures des grandes longueurs, des rubans, des roulettes et des fils géodésiques d'acier, d'invar ou d'autre materiaux. On présente aussi une analyse des erreurs et de l'incertitude de mesurage.*

1 Introducere

Măsurarea lungimilor mari cu exactități de ordinul $10^{-5}...10^{-6}$ reprezintă un domeniu important de preocupări al Institutului Național de Metrologie, determinat de cerințele dezvoltării industriei sau ale cercetării în diferite domenii și anume metrologie, topografie, geodezie.

În vederea asigurării trasabilității în domeniul lungimilor mari Institutul Național de Metrologie a realizat o bază geodezică, un comparator pentru lungimi mari, de 50 m, destinat etalonării și verificării măsurilor de lungime, a panglicilor, ruletelor sau a firelor geodezice executate din oțel, invar, sau alte materiale. Aceste măsuri de lungime au largi aplicații în măsurări industriale de lungimi mari, în geodezie, topografie, agricultură.

Panglicile și ruletele reprezintă măsuri de lungime de uz general, care se execută în 4 clase de exactitate conform prevederilor OIML 35-85 sau ale normelor de metrologie legală NML 1-10-97, date în tabelul 1:

Tabelul 1

Tipul ruletei sau panglicii de măsurat	Clase de exactitate 1	2	3	4
Rulete metalice mici $L \leq 5$ m	+	+	–	–
Rulete metalice mari $L \geq 5$ m	+	+	–	–
Rulete metalice cu lest	+	+	–	–
Panglici topografice	+	+	–	–
Rulete și panglici din fibră de sticlă, material plastic	+	+	+	–
Rulete și panglici din țesătură textilă	–	+	+	–

Erorile tolerate de justețe a indicațiilor scării gradate a panglicilor și ruletelor, funcție de clasa de exactitate, date în condiția în care banda de măsurat este rezemată în plan orizontal, tensionată cu o forță de întindere corespunzătoare, sunt prezentate în tabelul 2, în care L reprezintă lungimea benzii în metri.

Tabelul 2

Clasa de exactitate	Erori tolerate în mm
1	$\pm(0{,}1 + 0{,}1L)$
2	$\pm(0{,}3 + 0{,}2L)$
3	$\pm(0{,}6 + 0{,}4L)$
4	$\pm(1 + 1L)$

Verificarea și etalonarea măsurilor de lungime de largă utilizare se efectuează cu ajutorul unui comparator optico-mecanic, cu incertitudini corespunzătoare schemei de ierarhizare a măsurilor de lungime.

Panglicile și firele geodezice din invar care constituie măsuri de lungime etalon, de înaltă exactitate, se etalonează cu ajutorul unei baze

geodezice de măsurat lungimi mari, un comparator de măsurat panglici şi rulete, prin metodă de măsurare interferenţială; incertitudinea de etalonare asigură transmiterea unităţii de lungime în domeniul lungimi mari, în conformitate cu prevederile schemei de ierarhizare a etaloanelor.

2 Descrierea bazei geodezice

Baza geodezică pentru etalonarea panglicilor şi ruletelor a fost proiectată şi construită în cadrul laboratorului Mărimi Dimensionale al Institutului Naţional de Metrologie în scopul asigurării transmiterii unităţii de lungime în intervalul 0 ... 50 m, cu o incertitudine de etalonare de $(2 + 2L)$ µm. Această instalaţie se utilizează în lucrări de etalonare sau verificare a firelor sau a panglicilor geodezice din invar, sau a aparatelor de măsurat distanţe mari – de tip telemetre sau nivelmetre.

Baza geodezică este situată în subsolul clădirii, sub canalul tehnic, la cota de – 5,75 m, are o lungime de 74,5 m, fiind amplasată într-o cameră special amenajată pentru asigurarea unor condiţii corespunzătoare de mediu, respectiv temperatura (20 ± 1)°C şi umiditatea relativă (80 ± 5) %, condiţii necesare unor etalonări de mare exactitate. În acest scop laboratorul este termostatat cu ajutorul unui agregat de condiţionare a aerului tip ILKA, aerul este introdus prin tavanul perforat, iar evacuarea aerului se efectuează prin intermediul unor exhaustoare.

Studiul variaţiei temperaturii în timpul unui an a arătat că variaţia temperaturii este situată în limitele (14 ... 28)°C. Pentru asigurarea stabilităţii temperaturii în intervalul (20 ± 1)°C s-au montat suplimentar trei agregate de climă amplasate aproximativ la începutul, mijlocul şi la capătul bazei.

Studiul variaţiei temperaturii bazei geodezice în timp de 24 ore, cu şi fără climatizare, a condus la următoarele concluzii:

– gradientul de temperatură în timp nu depăşeşte 0,1°C/ h

– diferenţa valorilor de temperatură măsurată la capetele instalaţiei, în planul de aşezare al măsurandului, nu depăşeşte 0,2°C.

S-a constatat că umiditatea bazei geodezice are valori peste limitele admise, datorită unor infiltraţii repetate. Pentru eliminarea apei s-au montat ţevi de drenaj din PVC amplasate într-un canal lateral situat lângă pereţii bazei şi s-a montat o pompă cu debit mic, cu funcţionare automată, pentru evacuarea apei.

Baza geodezică are o structură din beton armat, de 25 cm grosime, aşezată pe o fundaţie din beton de 60 cm grosime. Pereţii laterali sunt căptuşiţi în interior cu un strat de BCA de 20 cm grosime şi cu o izolaţie termică din vată de sticlă, prevăzuţi în exterior cu o hidroizolaţie protejată cu un strat de jumătăţi de cărămidă, care asigură protecţia împotriva variaţiei temperaturii şi a umezelii excesive.

Menţinerea temperaturii şi umidităţii în limitele prescrise este foarte importantă, deoarece aceştia sunt factorii de care depinde modificarea în timp a lungimii bazei.

Baza propriu-zisă (fig. 1) este formată din următoarele părţi principale:

– fundaţia turnată pe pardoseală, înainte de lipirea covorului din PVC, care a fost armată corespunzător pentru a i se conferi rigiditate. Lungimea bazei este 65 m, iar dimensiunile în secţiune transversală sunt 0,8 m × 0,55 m;
– structura de bază, batiul (1) din beton, montat pe fundaţie şi care poartă pe suprafaţa superioară 2 sisteme de măsurare;

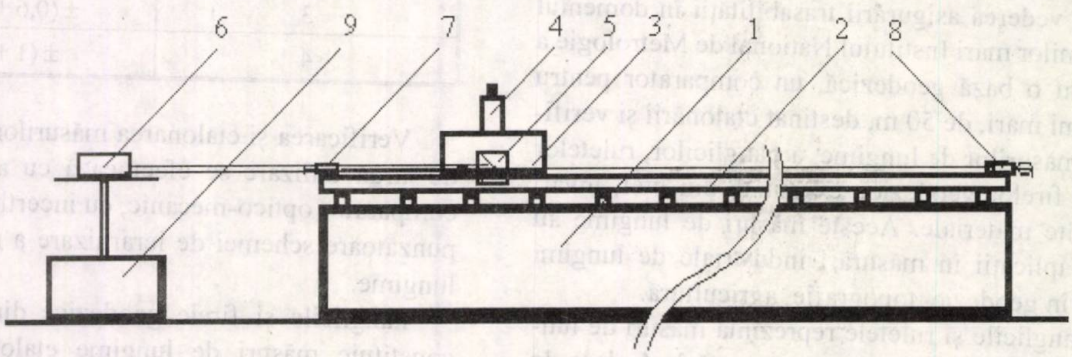


Fig. 1

- calea de rulare și ghidare a căruciorului (2) formată din 2 ghidaje cilindrice cu diametrul $\Phi = 50$ mm;
- cărucior (3) care se deplasează în lungul căii de rulare;
- microscoape de vizare și măsurare (4), corespunzător celor două sisteme de măsurare, fixate pe căruciorul (3);
- retroreflectorul mobil (5) al interferometrului cu laser He-Ne;
- interferometru cu laser He-Ne stabilizat în frecvență (6);
- calculator cu interfață pentru interferometrul cu laser, dotat cu program de analizare, calculare, înregistrare și afișare automată a datelor măsurărilor;
- dispozitiv de susținere și pentru rularea panglicii (7);
- dispozitiv de întindere și reglare a poziției panglicii (8);
- suport reglabil în înălțime pentru amplasarea interferometrului (9);
- sistem de prindere și suspendare la capete al firelor și paglicilor geodezice din invar, amplasat la capătul bazei spre perete, paralel cu calea de rulare.

Sistemele de măsurare sunt următoarele:

1. Sistem de măsurare tip optico-mecanic, format din o serie de plăci din oțel cu lungimea de 2 m, montate pe suprafața frontală a batiului, prevăzute cu orificii în care sunt montate plăcuțe gradate din oțel, cu scară gradată în milimetri. Sistemul de măsurare cuprinde de asemenea microscoapele (4) de măsurare și de vizare a reperelor panglicii sau ruletei;

2. sistem de măsurare interferențial, format din:
- interferometru cu laser He-Ne stabilizat în frecvență (6) montat pe căruciorul de ghidare,
- microscop de vizare pe care se fixează o nivelă cu coincidență pentru poziționarea acestuia în plan vertical,
- retroreflector mobil (5) amplasat pe căruciorul (3).

3 Metoda de etalonare și studiul erorilor

Etalonarea bazei geodezice se efectuează prin comparație cu lungimea de undă emisă de sursa laser a interferometrului, care este montată pe axa longitudinală a bazei geodezice, în vederea respectării principiului Abbe. Studiul erorilor bazei geodezice se poate efectua pentru cele 2 sisteme de măsurare ale bazei:
- sistemul de măsurare tip optico-mecanic prin comparație cu lungimea bazei etalonate,
- sistemul de măsurare interferențial, pentru măsurarea prin metodă interferențială absolută a firelor geodezice din invar suspendate la capete și a panglicilor geodezice din invar.

Incertitudinea de măsurare s-a calculat pe baza studiului erorilor care intervin în procesul de măsurare. Erorile sistematice care nu pot fi eliminate formează componentele incertitudinii de tip *B*, notată u_B și anume:
- erori datorită geometriei bazei, determinate de abaterile de la rectilinitate ale ghidajelor căii de rulare ale bazei,
- erori datorită temperaturii bazei,
- erori datorită interferometrului cu laser.

3.1 *Erori datorită geometriei bazei geodezice*

Acest tip de erori se produc datorită abaterii de la modelul ideal, care ar presupune ca ghidajul căruciorului să fie perfect rectiliniu, plăcuțele gradate să fie așezate în același plan vertical, astfel încât erorile datorită nivelmentului și șerpuirii să fie zero și vizarea cu microscopul să se facă normal pe reper.

Cele mai importante tipuri de erori care afectează rezultatul măsurării sunt următoarele:
- eroarea de rectilinitate a ghidajelor căii de rulare,
- eroarea datorită nivelmentului și șerpuirii plăcuțelor gradate,
- erori datorită microscopului de vizare.

3.1.1 Eroarea de rectilinitate a ghidajelor căii de rulare

Păstrarea paralelismului axei optice cu direcția planului de măsurare al bazei în care sunt amplasate plăcuțele gradate, impune condiții de rectilinitate ale ghidajului căruciorului ce poartă microscopul. Întrucât orice ghidaj are o anumită șerpuire, rezultă o eroare de sinus, care poate fi atenuată prin mai multe căi:
- determinarea experimentală a șerpuirii ghidajelor și ridicarea unei curbe de corecție a erorii de cosinus. Acest procedeu este foarte

greoi, deoarece calculul aferent este foarte laborios, iar ridicarea curbei de corecție trebuie făcută periodic pentru a avea siguranța menținerii în timp a valorilor respective,
- realizarea unui ghidaj foarte precis, cu o șerpuire suficient de mică astfel încât eroarea produsă să fie practic neglijabilă, ceea ce pentru o lungime atât de mare este aproape imposibil de realizat,
- introducerea unui sistem de determinare a erorilor de ghidare care poate fi automat sau manual, optându-se în final pentru soluția manuală, care constă în următoarele:

a) Microscopul de vizare se montează cu axa verticală perpendiculară pe căruciorul care se deplasează longitudinal de-a lungul plăcuțelor gradate. Se montează autocolimatorul la unul din capetele bazei, paralel cu calea de rulare. Pe cărucior se montează rigid o oglindă pană de referință, cu normala paralelă cu axa ghidajelor.

b) Abaterile de la rectilinitate ale ghidajelor se măsoară cu autocolimatorul, fiind corectate manual cu ajutorul unor șuruburi de reglare cu care este prevăzută calea de rulare.

După efectuarea reglajelor, s-au determinat experimental abaterile de la rectilinitate ale ghidajelor, obținându-se valoarea maximă de 30 μm la lungimea de 50 m.

Erorile microscopului de vizare se elimină prin poziționarea axei acestuia în plan vertical, poziționare care se efectuează cu ajutorul unei nivele atașate microscopului. Erorile de vizare sunt cuprinse în incertitudinea standard de măsurare, definită ca incertitudine de tip A.

3.1.2 Erori datorită nivelmentului și șerpuirii plăcuțelor gradate

Nivelmentul se definește ca abaterea de la rectilinitate în plan vertical, unele plăcuțe fiind situate mai sus sau mai jos în locașurile lor de bază. Prin ridicarea manuală a plăcuțelor la același nivel, această componentă a erorii a fost practic eliminată.

Șerpuirea plăcuțelor gradate determină abaterea de la rectilinitate în plan orizontal. Considerând ca referință calea de rulare care poartă căruciorul microscopului, s-a reglat poziția fiecărei plăcuțe astfel încât centrul reticulului microscopului să încadreze simetric reperul central al plăcuței gradate. Acest reglaj a fost efectuat pentru fiecare plăcuță în parte, după ce s-au adus unele îmbunătățiri bazei geodezice, prin vopsirea căii de rulare și a suprafeței pe care sunt montate plăcuțele gradate, în scopul protejării contra coroziunii. S-au efectuat reglajele plăcuțelor bazei, prin poziționarea manuală a plăcuțelor în plan orizontal astfel încât reticulul microscopului să încadreze simetric reperul central al fiecărei plăcuțe gradate, pentru eliminarea acestei componente a erorii. Concluzia este că singura componentă care rămâne în calcul este cea datorată abaterii de la rectilinitatea căii de rulare. Din determinările experimentale s-a obținut o abatere maximă de la rectilinitate $\Delta R = 30$ μm.

Incertitudinea de măsurare se determină cu relația:

$$u_1(\delta R) = \frac{\Delta R}{\sqrt{3}}$$

– considerăm o distribuție dreptunghiulară a acestor erori.

Experimental s-au obținut valorile erorilor de rectilinitate ale ghidajului $\Delta R = 0$ μm la lungimea de 1 m, $\Delta R = 16$ μm la lungimea de 24 m și $\Delta R = 30$ μm la lungimea de 50 m a bazei geodezice.

Rezultă că valoarea incertitudinii, datorită erorilor de șerpuire, la lungimea totală de 50 m a bazei, va fi:

$$u_1(\delta R) = 17{,}3 \text{ μm}$$

3.2 *Erori datorită temperaturii*

Erorile datorită influenței temperaturii provin din :
- erori datorită neuniformității temperaturii de-a lungul bazei,
- erori de citire a termometrelor.

Incertitudinea de etalonare a termometrelor este de 0,01°C (din certificatul de etalonare al termometrelor)

Din aceste componente, o importanță semnificativă o au erorile determinate de neuniformitate a temperaturii în lungul bazei, a cărei valoare este de:

$$\Delta t = 0{,}5°\text{C}$$

Erorile de măsurare a lungimii introduse de neuniformitatea temperaturii în lungul bazei sunt date de relația:

$$\Delta L = L \times \alpha \times \Delta t \qquad (1)$$

în care:

L lungimea bazei

α coeficientul de dilatare termică al bazei care este egal cu $11{,}5 \times 10^{-6}$ K^{-1}

α_f coeficientul de dilatare termică al firelor de invar este $1{,}5\times10^{-6}\ K^{-1}$

Δt variația temperaturii egală cu 0,5°C

Incertitudinea de măsurare datorită influenței temperaturii va fi dată de relația:

$$u_{2\,(\delta\alpha\,,\,\delta t)} = u_{(\delta\alpha)} \times u_{(\delta t)} \times L, \qquad (2)$$

în care:

$u_{(\delta\alpha)}$ incertitudinea datorită variației coeficientului de dilatare termică lineară a oțelului

$u_{(\delta t)}$ incertitudinea datorită variației temperaturii în lungul bazei

$\Delta\alpha$ variația coeficientului de dilatare termică, care pentru oțel este $2\times10^{-6}K^{-1}$ iar pentru invar este $1\times10^{-6}K^{-1}$

Δt variația temperaturii în lungul bazei, egală cu $0{,}5K^{-1}$

Considerând o repartiție dreptunghiulară a acestor erori, componentele incertitudinii $u(\delta\alpha)$ și $u(\delta t)$ vor avea următoarele valori:

$$u(\delta\alpha) = \frac{2\times10^{-6}}{\sqrt{3}} \quad \text{pentru oțel,}$$

sau $$u(\delta\alpha) = \frac{1\times10^{-6}}{\sqrt{3}} \quad \text{pentru invar}$$

$$u(\delta t) = \frac{0{,}5}{\sqrt{3}} \times L$$

deci,

$$u_{2(\delta\alpha,\delta t)} = \frac{2\times10^{-6}\times0{,}5\times L}{\sqrt{3}\times\sqrt{3}} = 0{,}33\times10^{-6}\times L\ \mu m$$

pentru oțel

sau

$$u_{1(\delta\alpha,\delta t)} = \frac{2\times10^{-6}\times0{,}5\times L}{\sqrt{3}\times\sqrt{3}} = 0{,}17\times10^{-6}\times L\ \mu m$$

pentru invar

– Pentru oțel vom avea:

pentru lungimea L = 1 m, $u_2(\delta\alpha, \delta t)$ = 0,33 μm, iar pentru lungimea L = 50 m $u_2(\delta\alpha, \delta t)$ = 16,5 μm

– Pentru firele din invar, care au lungimea de 24 m vom avea:

pentru lungimea L = 24 m, $u_2(\delta\alpha, \delta t)$ = 4,08 μm

3.3 *Eroarea determinată de incertitudinea de măsurare a interferometrului cu laser*

Conform prevederilor cărții tehnice a interferometrului, rezultă că eroarea interferometrului cu laser este dată de relația:

$$(0{,}02 + 5\times10^{-7}\times L)\ \mu m \qquad (3)$$

unde L este lungimea măsurată în m.

Rezultă că pentru lungimea de 1 m, eroarea de măsurare va fi 0,5 μm, iar la lungimea de 50 m, eroarea de măsurare a interferometrului cu laser va fi 25,02 μm.

Considerăm o distribuție dreptunghiulară a acestor erori. Rezultă că incertitudinea de măsurare datorită interferometrului cu laser pentru lungimea de 50 m va fi:

$$u_3 = \frac{25}{\sqrt{3}} = 14{,}4\ \mu m$$

3.4 *Erori determinate de modul de sprijinire al firelor din invar*

Etalonarea firelor din invar, cât și a panglicilor din invar, se efectuează cu ajutorul comparatorului interferențial, prezentat în fig. 1, cu ajutorul sistemului de măsurare interferențial.

În vederea etalonării, firele din invar se suspendă la capete, cu dispozitive de fixare și de întindere. Firele și panglicile din invar sunt constituite dintr-un singur segment de secțiune uniformă, prevăzute cu gradații dm și mm.

Firele din invar au diametrul 1,65 mm, masa specifică 17,32 g /m, gradațiile lor milimetrice sunt practicate pe riglete situate la ambele capete ale firului, lungimea lor poate fi (8 + 0,08) m, sau (24 + 0,08) m.

Panglicile din invar pot avea lungimi nominale de 4 m, 6 m sau 50 m și sunt prevăzute cu gradații decimetrice, iar la capete sunt prevăzute cu porțiuni de 10 cm, cu gradații milimetrice.

Etalonarea firelor din invar impune suspendarea lor pe reazeme cilindrice amplasate la capete și aplicarea corecției de săgeată deoarece, prin suspendarea la capete, are loc o scurtare a firului sub acțiunea greutății proprii, conform fig. 2.

Corecția de săgeată se determină cu relația:

$$s = \frac{L^3}{24\times a^2} \qquad (4)$$

unde:

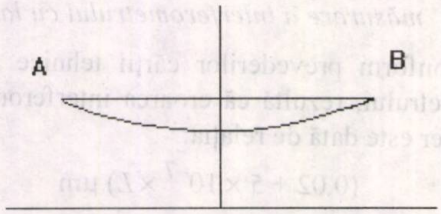


Fig. 2

L lungimea firului

a mărime caracteristică, determinată ca raportul între T_0 – forța de întindere aplicată și σ – masa specifică

$$a = \frac{t_0}{\sigma \times g} \tag{5}$$

Dacă o panglică este suspendată în N puncte, atunci valoarea corecției de săgeată va scade invers proporțional cu numărul punctelor de sprijin conform relației:

$$\frac{L^3}{24 \times a^2} \times \frac{1}{N^2} \tag{6}$$

Incertitudinea de determinare a corecției de săgeată va fi dată de relația:

$$u_4(\delta, s) = 3 \frac{L^2}{24 \frac{T^2}{\sigma^2}} \Delta L \tag{7}$$

Considerăm:

L lungimea firului 24 m

T forța de întindere 50 N

σ masa specifică a firelor din invar care este cunoscută, $17{,}32$ g/m $= 17{,}32 \times 10^{-3}$ kg/m

ΔL incertitudinea de măsurare a lungimii; la utilizarea metodei interferențiale de măsurare, pentru lungimea firului de 24 m, conform relației de la pct. 3.3 rezultă: $\Delta L = 12$ μm

Considerăm distribuția dreptunghiulară a acestei incertitudini:

$$u_4(\delta s) = \frac{3 \times x^2 \times \sigma^2 \times 9{,}8^2}{24 \times T^2} \times \Delta L \frac{1}{\sqrt{3}} \tag{8}$$

Din calcul reiese că valoarea incertitudinii de măsurare $u_4(\delta s)$ este de ordinul 0,01 μm, deci această componentă a incertitudinilor parțiale va avea valoarea zero.

3.5 *Determinarea incertitudinii extinse de măsurare*

Etalonarea bazei geodezice s-a efectuat prin metoda interferențială absolută, cu ajutorul unui interferometru cu laser He-Ne, stabilizat în frecvență, fabricație Hewlett Packard . Etalonarea s-a efectuat pe întreaga lungime de 50 m a bazei, în pași de 0,5 m.

Din studiul erorilor sistematice ce intervin în procesul de măsurare rezultă că incertitudinea de tip B, u_B se determină pe baza erorilor sistematice ce nu pot fi eliminate, compuse din:

- erori datorită geometriei bazei, determinate de abaterile de la rectilinitate ale ghidajelor căii de rulare ale bazei;
- erori datorite temperaturii bazei;
- erori datorite interferometrului cu laser;
- erori datorite sistemului de măsurare al firelor geodezice din invar.

Studiul erorilor bazei geodezice s-a efectuat pentru cele 2 sisteme de măsurare ale bazei:

a) sistemul de măsurare tip optico-mecanic prin comparație cu lungimea bazei etalonate

b) sistemul de măsurare interferențial la măsurarea prin metodă interferențială absolută a firelor geodezice din invar suspendate la capete și al panglicilor geodezice din invar.

Incertitudinea extinsă de măsurare se determină cu relația:

$$U = k \times u_c, \tag{9}$$

în care:

k factorul de extindere, a cărui valoare este egală cu 2, pentru un nivel de încredere de 95%

u_c incertitudinea compusă care se calculează cu relația:

$$u_c = \sqrt{\sum u_i^2(y)} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}, \tag{10}$$

în care:

$u_i^2(y)$ pătratul incertitudinilor parțiale, analizate la pct. 3.1, ... 3.4

u_A incertitudinea de tip A, care se determină experimental

u_B incertitudinea de tip B, determinată pe baza componentelor prezentate la punctul 3.

Incertitudinea de tip A s-a determinat experimental efectuând 15 măsurări succesive la vizarea aceluiași reper al unei plăcuțe gradate a bazei; conform datelor din anexa 1, aceasta s-a calculat cu relația:

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{\sqrt{\sum (x_i - x)^2}}{\sqrt{n(n-1)}} \qquad (10)$$

în care:

x_i măsurările individuale
x media măsurărilor
$n = 15$ numărul măsurărilor

Din datele experimentale prezentate în anexa 1 rezultă:

$$S = 0{,}88\ \mu m$$

a) sistemul de măsurare tip optico-mecanic prin comparație cu lungimea bazei etalonate.

Valorile incertitudinii parțiale ale incertitudinii compuse u_c și cele ale incertitudinii extinse U s-a calculat pe baza componentelor incertitudinilor parțiale analizate la pct. 3.1 ... 3.3, și prezentate sintetic în tabelul 3.

b) Incertitudinea extinsă de măsurare în cazul etalonării firelor geodezice din invar cu lungimea de 24 m, suspendate la capete se determină conform relației (9), luând în considerare componentele incertitudinilor parțiale prezentate la pct. 3.1 ... 3.4, prezentate sintetic în tabelul 4.

4 Concluzie

În vederea asigurării trasabilității în domeniul lungimilor mari Institutul Național de Metrologie

Tabelul 3

Mărimea	Estimații	Incertitudinea standard s, μm	Distribuția de probabilitate	Coeficientul de sensibilitate	Incertitudini parțiale, μm
L	1 m	0,88	normală	1	0,23
$u_{1(\delta R)}$	–	0	dreptunghiulară	1	0
$u_{2(\delta\alpha, ,\delta t)}$	–	0,33	dreptunghiulară	1	0,33
u_3	–	0,5	dreptunghiulară	1	0,29
u_c	–	–	–	–	0,5
U	–	–	–	–	1
L	50 m	0,88	normală	1	0,23
$u_{1(\delta R)}$	–	30	dreptunghiulară	1	17,3
$u_{2(\delta\alpha, \delta t)}$	–	0,33	dreptunghiulară	1	16,5
u_3	–	25	dreptunghiulară	1	14,4
u_c	–	–	–	–	27,9
U	–	–	–	–	55,8

Tabelul 4

Mărimea	Estimații	Incertitudinea standard s, μm	Distribuția de probabilitate	Coeficientul de sensibilitate	Incertitudini parțiale, μm
L	24 m	0,88	normală	1	0,23
$u_{1(\delta R)}$	–	16	dreptunghiulară	1	9,2
$u_{2(\delta\alpha, \delta t)}$	–	0,17	dreptunghiulară	1	4,1
u_3	–	12	dreptunghiulară	1	6,9
u_4	–	0,01	dreptunghiulară	1	0,006
u_c	–	–	–	–	12
U	–	–	–	–	24

Anexa 1

Determinarea incertitudinii de tip A

Nr. crt. n	i (μm)	i_{mediu} (μm)	$s = \sqrt{\frac{(x_i - x_{mediu})^2}{n-1}}$	$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}}$
1	14,4	13,65	0,88	0,23
2	14,0			
3	14,8			
4	11,3			
5	12,7			
6	13,7			
7	14,1			
8	14,3			
9	13,8			
10	14,1			
11	13,5			
12	13,8			
13	12,9			
14	13,1			
15	14,2			

a realizat o bază geodezică, un comparator interferențial destinat etalonării și verificării măsurilor de lungime mari, cu L până de 50 m, în vederea transmiterii unității de lungime la panglici, rulete sau fire geodezice executate din oțel, invar, sau din alte materiale.

În cadrul lucrării se face o analiză a erorilor de măsurare și a incertitudinii extinse ale comparatorului interferențial pentru etalonarea panglicilor și ruletelor executate din oțel sau din invar.

Valoarea incertitudinii extinse s-a determinat pe baza analizei componentelor incertitudinilor parțiale, în conformitate cu prevederile ghidului pentru determinarea incertitudinii extinse de măsurare, ale SR ISO 13434/1999 (în curs de apariție). Valorile incertitudinii extinse de măsurare calculate pe baza evaluării componentelor incertitudinilor parțiale au condus la obținerea unor valori care sunt conforme cu prevederile schemei de ierarhizare a etaloanelor și cu prevederile normelor OIML 35/ 85 și permit încadrarea bazei geodezice ca etalon de referință ordin I. Prevederile normelor OIML pentru aceste etaloane de ordinul I sunt următoarele:

- incertitudinea de măsurare trebuie să fie $U = (2 + 2 \times L)$ μm în care L reprezintă lungimea de măsurat exprimată în metri.

Pe baza datelor analizate rezultă că Institutul Național de Metrologie asigură trasabilitatea în domeniul lungimilor mari prin realizarea bazei geodezice cu lungimea de 50 m, care permite etalonarea și verificarea măsurilor de lungime mari, a panglicilor, ruletelor sau a firelor geodezice executate din oțel, invar sau din alte materiale.

BIBLIOGRAFIE

[1] *D. Boiciuc*, "Laserul în metrologia lungimilor". Metrologia nr. 2, 3, 4 / 1993 și nr. 1 / 1994.

[2] *D. Boiciuc*, "Materializarea definiției metrului în România". Metrologia nr. 2-4 1994.

[3] *A. Millea*, "Momente din evoluția recentă a etaloanelor primare ale unităților SI fundamentale" Metrologia aplicată, nr. 1/1988.

[4] SR 13251/1995 "Vocabular internațional de termeni fundamentali și generali în metrologie."

[5] *C.B. Rosenberg, C.S.C. Munteanu, R.A. Ferguson*, "Calibration of flexible tapes to ppm accuracy level" OIML Bulletin, vol. XXXVIII, no. 2, april 1997.

[6] Guide to the expresion of measurement uncertainty, 1993.

Schema de ierarhizare a etaloanelor din domeniul lungimi

Dragoş BOICIUC
Elena DUGHEANU
Rodica CRAMARESCU

Abstract: *The paper presents the hierachisation scheme of the standards in the filed of length measurement developed with the aim of assuring the international uniformity of measurements, the compatibility and the equivalence of the metrological properties of reference standards and working standards for a specific quantity, as well as the compliance with the corresponding schemes recommended by various international organizations.*

Résumé: *On présente le schéma d'hierchisation des étalons dans le domaine des longueurs réalisé pour assurer l'uniformité internationalle des mesures, la compatibilité et l'équivalence des proprietés métrologiques des étalons de référence et des étalons de travail pour une grandeur, aussi que la conformité avec les schémas analogues récommendés par les organisations internationalles.*

1 Generalităţi

Pentru transmiterea unităţii de lungime, în multe ţări există "Scheme de transmiterea unităţii", iar în cadrul Organizaţiei de Metrologie Legală a fost adoptată o "Schemă de ierarhizare a mijloacelor de măsurare a lungimii", sub formă de Recomandare. Această schemă de ierarhizare fixează ierarhia etaloanelor şi modul de transmitere a unităţii de lungime, plecând de la etalonul primar (etalonul unificat de timp, frecvenţă şi lungime), prin etaloanele secundare, de referinţă şi de lucru, de ordine de exactitate corespunzătoare, până la mijloacele de măsurare de lucru uzuale, indicând metodele de etalonare şi verificare şi incertitudinile de etalonare, pe fiecare treaptă de exactitate.

Genul de etaloane primare şi etaloanele de referinţă din fiecare ţară membră a OIML pot diferi în funcţie de nevoile şi cerinţele fiecărui stat, dar se recomandă ca incertitudinea lor să corespundă schemei de ierarhizare, în scopul asigurării uniformităţii internaţionale a măsurărilor. În consens cu această cerinţă şi în ţara noastră s-a elaborat o schemă de transmitere a unităţii de lungime, care prevede ierarhia etaloanelor, incertitudinea de etalonare şi metodele de etalonare pentru fiecare ordin de exactitate.

Schema de ierarhizare determină lanţul neîntrerupt de transferare / transmitere a valorii unei unităţi de măsură a unei mărimi de la etalonul primar la mijloace de măsurare de lucru ale mărimii date. Ea reprezintă un sistem de mijloace de măsurare ordonate consecutiv, ca etaloane şi mijloace de măsurare de lucru, exprimat grafic conform unor reguli stabilite, care prezintă caracteristicile metrologice cele mai importante ale mijloacelor de măsurare, împreună cu legăturile mutuale între ele.

Schema de ierarhizare a mijloacelor de măsurare în domeniul Lungimi asigură trasabilitatea, uniformitatea, exactitatea şi legalitatea măsurărilor de lungime şi stabileşte metodele de transmitere a unităţii de lungime de la etalonul primar, laserul He-Ne, stabilizat prin absorbţie saturată pe $^{127}I_2$, la etaloanele secundare şi de referinţă, pe ordine de exactitate corespunzătoare şi apoi la mijloacele de măsurare de lucru.

Schema este structurată pentru următoarele măsuri şi mijloace de măsurare a lungimii:

a) etalonul primar de lungime, constituit dintr-un laser He-Ne, monofrecvenţă, care realizează stabilizarea lungimii de undă prin absorbţie saturată a radiaţiei în vapori de iod 127, într-o celulă aflată în interiorul rezonatorului laser;

b) etaloane secundare, care cuprind:
- măsuri de lungime sau radiaţii etalon secundar de lungime (surse laser He-Ne sau lămpi spectrale)
- interferometre cu laser He-Ne

– comparatoare interferențiale pentru măsurarea riglelor etalon sau a calelor plan paralele etalon

c) etaloane de referință și de lucru, ca:
- lasere stabilizate și lămpi spectrale
- măsuri de lungime cu repere (rigle, rulete, panglici de măsurat lungimi)
- măsuri de lungime terminale (cale plan paralele, calibre)
- mașini de măsurat lungimi, calibre inel.

Etaloanele de referință și de lucru sunt împărțite în cinci ordine de exactitate, de la I la V, fiecare având o incertitudine de măsurare proprie.

d) mijloace de măsurare de lucru, care cuprind instrumente, aparate și instalații pentru măsurarea lungimii. Conform schemei, acestea sunt împărțite pe clase de exactitate.

Condițiile de referință pentru măsurarea lungimii sunt următoarele:
- temperatura standard de referință : 20°C
- presiunea: 101,325 kPa (760 mm coloană de Hg)
- umiditate relativă: 65%.

2 Etalonul primar

Etalonul primar de lungime este racordat la etaloanele internaționale în vederea asigurării uniformității internaționale a măsurărilor de lungime. El este reprezentat de un laser He-Ne, fabricat în Germania, stabilizat prin absorbție saturată pe $^{127}I_2$. Sistemul electronic de prelucrare a informației furnizate de laser în scopul fixării funcționării acestuia pe o frecvență stabilă face uz de tehnica derivatei a III-a, în conformitate cu recomandările cuprinse în documentele internaționale ce definesc cadrul de realizare practică a noii definiții a metrului.

Metodele de transmitere a unității de măsură de la etalonul primar la etaloanele secundare sunt metode absolute de măsurare și anume:

– metoda bătăii frecvențelor, utilizată în transmiterea unității la lasere stabilizate în frecvență, cu incertitudinea relativă de ordinul: $U = 5\times10^{-11} ... 10^{-10}$;

– metoda de măsurare interferențială, utilizată în transmiterea unității la comparatoarele interferențiale de lungimi. Incertitudinea relativă de determinare a valorii lungimii de undă cu această metodă este de ordinul: $U = 10^{-10} ... 10^{-8}$.

3 Etaloane secundare

Etaloanele secundare de lungime sunt materializate prin:

– măsuri de lungime sau radiații etalon secundar de lungime (surse laser He-Ne, lămpi spectrale);

– interferometre cu laser He-Ne;

– comparatoare interferențiale pentru măsurarea riglelor etalon sau a calelor plan paralele etalon.

Etalonul primar asigură transmiterea unității la etaloanele secundare, cu următoarele incertitudini extinse ($k = 2$):

– laser He-Ne stabilizat în frecvență cu incertitudinea relativă:

$$U = 10^{-10} ... 10^{-9};$$

– interferometru cu laser He-Ne, cu incertitudinea:

$$U = (0{,}03 + 0{,}1 \times L)\ \mu m;$$

– comparator interferențial pentru rigle, cu incertitudinea:

$$U = (0{,}05 + 0{,}1 \times L)\ \mu m;$$

– comparator interferențial pentru cale plan paralele, cu incertitudinea:

$$U = (0{,}02 + 0{,}1 \times L)\ \mu m.$$

Metodele de transmitere a unității de la etaloanele secundare la cele de referință și de lucru sunt metode de măsurare directe, în cazul interferometrului cu laser, comparatorului interferențial pentru rigle sau a comparatorului interferențial pentru cale și metode de comparare directă în cazul laserelor stabilizate și a lămpilor spectrale.

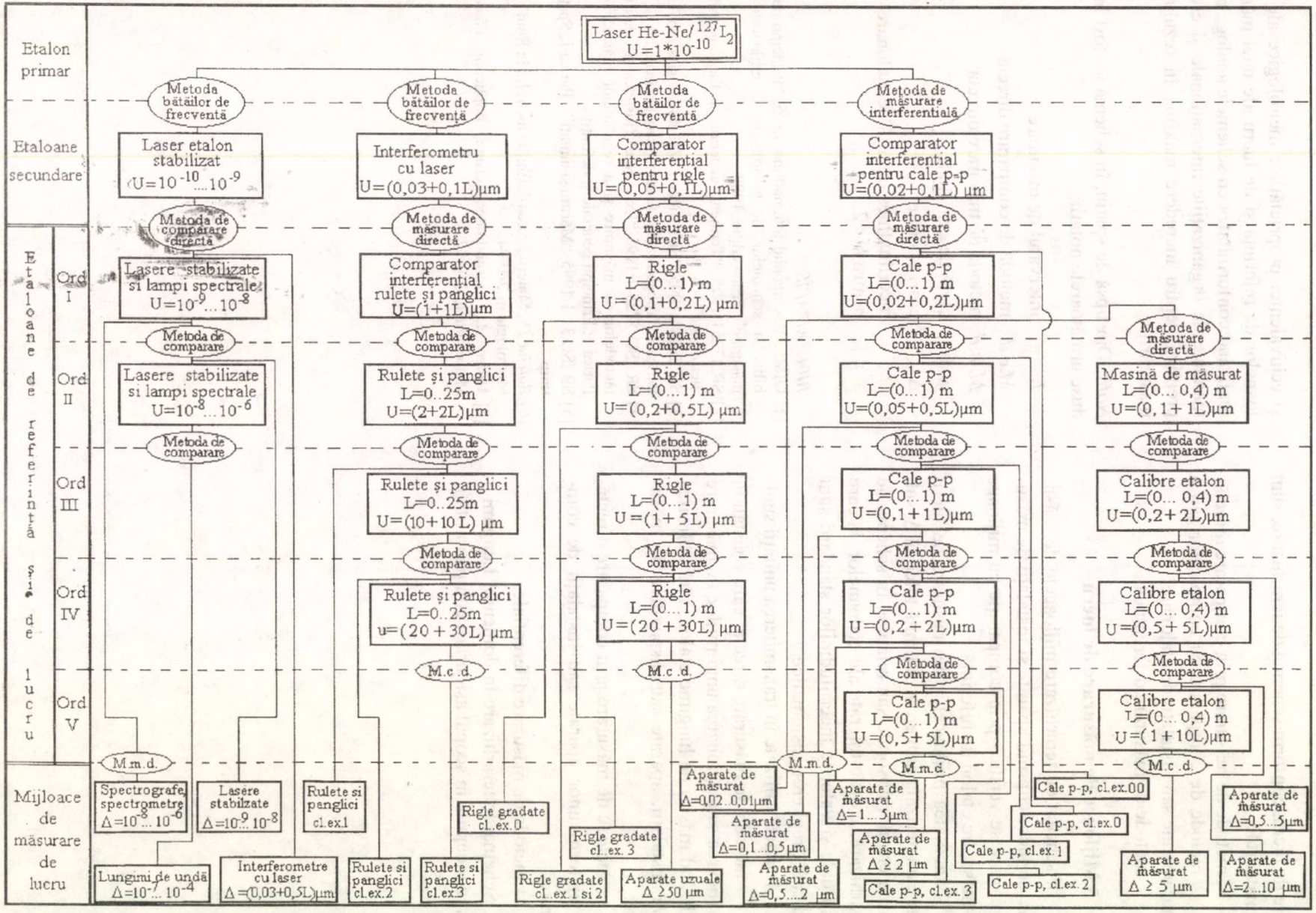
4 Etaloane de referință și de lucru

Etaloanele de referință și de lucru sunt utilizate atât pentru etalonarea mijloacelor de măsurare etalon de ordin inferior cât și pentru verificarea mijloacelor de măsurare de lucru. Conform schemei de ierarhizare, pentru mijloacele de măsurare etalon de referință și de lucru, sunt prevăzute 5 ordine de exactitate, cu o incertitudine determinată pentru un nivel de încredere $P^* = 95\%$.

Pentru mijloacele de măsurare etalon, raportul de incertitudine între nivelele învecinate ale etaloanelor de referință și de lucru este cuprins între 5:1 sau 10:1.

Metodele de transmitere a unității de la etaloanele de referință și de lucru la mijloacele de măsu-

Schema de ierarhizare a mijloacelor de măsurare din domeniul lungimi



rare de lucru, conform schemei de ierarhizare, sunt următoarele:

- metode de măsurare prin comparare directă;
- metode de comparare cu comparator sau a unor aparate sau instalații de etalonare;
- metode de măsurare diferențială.

5 Mijloace de măsurare de lucru

În schema de ierarhizare mijloacele de măsurare de lucru cuprind aparate și instalații de măsurare, care se verifică prin comparație cu mijloace de măsurare etalon de referință.

Exactitatea mijloacelor de măsurare de lucru este caracterizată prin eroarea limită tolerată Δ, sub forma erorilor absolute sau relative. În schema de ierarhizare, erorile tolerate ale etaloanelor, la care sunt date și valorile incertitudinilor standard sunt indicate drept erori sistematice.

Metodele utilizate în transmiterea unității sunt:

- metode de măsurare directă, care constau în verificarea sau etalonarea unui mijloc de măsurare utilizând măsuri de lungime etalon, fără utilizarea unor instalații, aparate sau dispozitive de măsurare;
- metode de măsurare prin comparare directă, cu ajutorul unor aparate sau instalații de comparare;
- metode de măsurare diferențiale.

Schema de ierarhizare în domeniul Lungimi a fost concepută în scopul asigurării compatibilității și echivalenței proprietăților metrologice ale etaloanelor de referință și de lucru ale unei mărimi, realizând conformitatea cu schemele analoge recomandate de organizațiile internaționale și creând premiza pentru încredere maximă în rezultatele măsurărilor.

Notă: Din lipsă de spațiu, în schemă au fost introduse următoarele notații:

L	intervalul de măsurare
M.c.d.	metodă de comparare directă
M.m.d.	metodă de măsurare directă
cl.ex.	clasă de exactitate
Δ	erori tolerate
U	incertitudinea extinsă de etalonare pentru $k = 2$.

BIBLIOGRAFIE:

[1] OIML, Documentul internațional nr. 5, "Principii de stabilire a schemelor de ierarhizare a mijloacelor de măsurare", Prima ediție, 1982

[2] SR 13251:1995 "Termeni generali și fundamentali în metrologie"

[3] SR ISO-1:1995 "Statistică – Vocabular și simboluri – Partea 1: Probabilitate și termeni statistici generali"

[4] SR ISO 5725-1:1995 "Exactitatea (justețea și fidelitatea) metodelor de măsurare și a rezultatelor măsurărilor – Partea 1: Principii generale și definiții

[5] SR ISO 31-1/1995: "Mărimi și unități" – Partea 1: Spațiu și timp

[6] *Boiciuc D.*, Materializarea definiției metrului în România – Metrologie nr.2/1994

[7] *Millea A.*, Trasabilitate: cerințe, implicații, efecte – Metrologie nr.2/1997

Schema de ierarhizare a mijloacelor de măsurare a unghiului plan

Alexandru DUȚĂ

Abstract: *The paper present the hierarchisation scheme with respect to the exactness of plane angle measuring means, as well as the methods for the materialization and dissemination of the unit, which provide the traceability of plane angle measurements. The depicted scheme is based on a widely accepted classical equipment and comprise four domains (national standard, secondary standards, reference standards and ordinary measuring means). The uncertainty associated to the materialization and dissemination of the unit for plane angle is established for each domain and exactness order corresponding to a confidence level P* = 95 %.*

Résumé: *L'article présente le schéma de hiérarchisation selon l'exactitude des moyens de mesurage pour l'angle plan, ausii que les méthodes de matérialisation et de dissémination de l'unité à partir de l'étalon national jusqu'aux moyens de mesurage ordinaires, par lesquelles on assure la traçabilité des mesurages de l'angle plan. Le schéma présenté est basé sur un équipement classique consacré et comprend quatre domaines (étalon national, étalons sécondaires, étalons de référence et moyens de mesurage ordinaires). L'incertitude associée à la matérialisation et la dissémination de l'unité d'angle plan est déterminée pour chaque domain et ordre d'exactitude correspondant à un niveau de confiance P* = 95 %.*

1 Generalități

Prezentul document stabilește schema de ierarhizare a mijloacelor de măsurare a unghiului plan și metodele de transmitere a unității de unghi plan de la etalonul primar la mijloacele de măsurare de lucru în vederea asigurării trasabilității.

În Sistemul Internațional (SI), unghiul plan este o mărime suplimentară a cărei unitate de măsură este radianul (rad), definit ca unghiul la centru descris de un arc de cerc cu lungimea egală cu raza. Pentru măsurarea unghiului plan CIPM admite ca unitate de măsură gradul sexagesimal (°) cu submultiplii: minut sexagesimal (') și secundă sexagesimală (").

$(1° = \pi/180 \text{ rad}; \quad 1' = 1°/60; \; 1'' = 1'/60)$

Unitatea de măsură utilizată în domenii speciale (de exemplu la gradarea aparatelor geodezice) este gonul (gon).

$$1 \text{ gon} = \pi/200 \text{ rad}$$

Schema prezentată în figura 1 se bazează pe un echipament clasic a cărui valabilitate este recunoscută. Echipamentele moderne, de exemplu instalațiile bazate pe sisteme laser pentru măsurarea unghiurilor mici, pot fi utilizate în funcție de progresul în materie. Absența altor mijloace de măsurare din schemă nu înseamnă că acestea nu sunt acceptate.

Este știut că în laboratoare competente și corect echipate, unghiul plan poate fi măsurat pe baza unui raport a două lungimi, fără referințe la etaloane de un ordin prea ridicat. În acest caz pentru fiecare determinare trebuie să se evalueze incertitudinea de măsurare.

În vederea asigurării metrologice a reproducerii și transmiterii corecte a unității de unghi plan, păstrarea etaloanelor trebuie să se facă în condiții de mediu lipsit de praf, agenți chimici corozivi, la temperatura mediului ambiant de 20°C ± 5°C și umiditatea relativă de (65 ± 10)%.

Transmiterea corectă a unității de unghi plan la nivelele de exactitate corespunzătoare impune efectuarea de studii periodice pentru determinarea caracteristicilor metrologice ale etaloanelor, a studiului comportării în timp și comparea internațională a etaloanelor.

Perioada maximă între două etalonări este conform Listei Oficiale a mijloacelor de măsurare supuse controlului metrologic al statului.

2 Etalon primar

Vârful schemei de ierarhizare este ocupat de un ansamblu de instalații pentru reproducerea unității

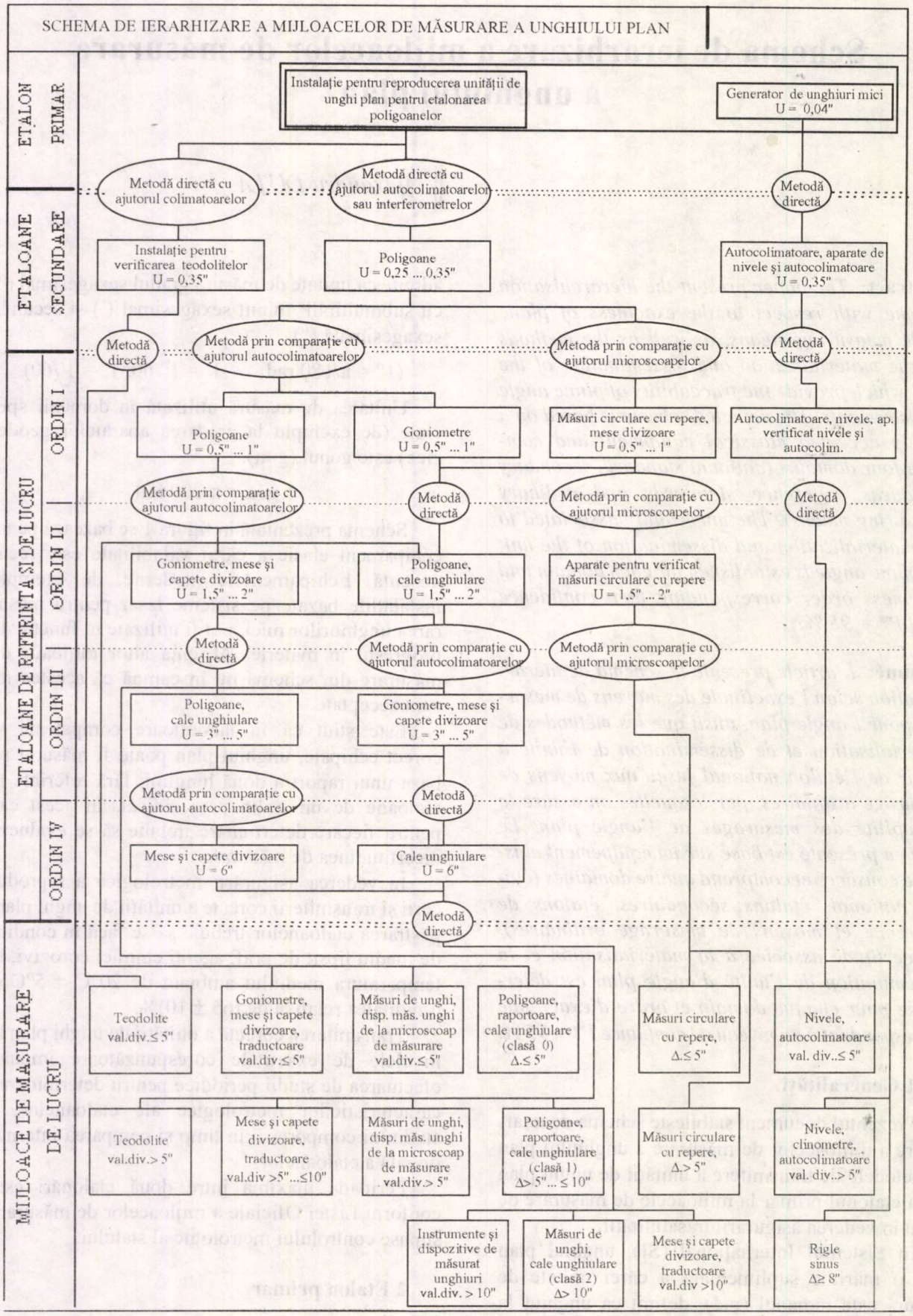

SCHEMA DE IERARHIZARE A MIJLOACELOR DE MĂSURARE A UNGHIULUI PLAN
ETALON PRIMAR
ETALOANE SECUNDARE
ETALOANE DE REFERINȚĂ ȘI DE LUCRU
ORDIN I
ORDIN II
ORDIN III
ORDIN IV
MIJLOACE DE MĂSURARE DE LUCRU
Instalație pentru reproducerea unității de unghi plan pentru etalonarea poligoanelor
Generator de unghiuri mici U = 0,04"
Metodă directă cu ajutorul colimatoarelor
Metodă directă cu ajutorul autocolimatoarelor sau interferometrelor
Metodă directă
Instalație pentru verificarea teodolitelor U = 0,35"
Poligoane U = 0,25 ... 0,35"
Autocolimatoare, aparate de nivele și autocolimatoare U = 0,35"
Metodă directă
Metodă prin comparație cu ajutorul autocolimatoarelor
Metodă prin comparație cu ajutorul microscoapelor
Metodă directă
Poligoane U = 0,5" ... 1"
Goniometre U = 0,5" ... 1"
Măsuri circulare cu repere, mese divizoare U = 0,5" ... 1"
Autocolimatoare, nivele, ap. vertificat nivele și autocolim.
Metodă prin comparație cu ajutorul autocolimatoarelor
Metodă directă
Metodă prin comparație cu ajutorul microscoapelor
Metodă directă
Goniometre, mese și capete divizoare U = 1,5" ... 2"
Poligoane, cale unghiulare U = 1,5" ... 2"
Aparate pentru verificat măsuri circulare cu repere U = 1,5" ... 2"
Metodă directă
Metodă prin comparație cu ajutorul autocolimatoarelor
Metodă prin comparație cu ajutorul microscoapelor
Poligoane, cale unghiulare U = 3" ... 5"
Goniometre, mese și capete divizoare U = 3" ... 5"
Metodă prin comparație cu ajutorul autocolimatoarelor
Metodă directă
Mese și capete divizoare U = 6"
Cale unghiulare U = 6"
Metodă directă
Teodolite val.div.≤ 5"
Goniometre, mese și capete divizoare, traductoare val.div.≤ 5"
Măsuri de unghi, disp. măs. unghi de la microscoap de măsurare val.div.≤ 5"
Poligoane, raportoare, cale unghiulare (clasă 0) Δ.≤ 5"
Măsuri circulare cu repere, Δ.≤ 5"
Nivele, autocolimatoare val. div..≤ 5"
Teodolite val.div.> 5"
Mese și capete divizoare, traductoare val.div >5"...≤10"
Măsuri de unghi, disp. măs. unghi de la microscoap de măsurare val.div.> 5"
Poligoane, raportoare, cale unghiulare (clasă 1) Δ> 5"... ≤ 10"
Măsuri circulare cu repere, Δ.> 5"
Nivele, clinometre, autocolimatoare val. div..> 5"
Instrumente și dispozitive de măsurat unghiuri val.div. > 10"
Măsuri de unghi, cale unghiulare (clasă 2) Δ> 10"
Mese și capete divizoare, traductoare val.div >10"
Rigle sinus Δ≥ 8"

Fig. 1

de unghi plan în grade, minute și secunde sexagesimale.

Reproducerea unității de unghi plan se realizează prin:

– etalonarea unei scări circulare închise (cerc complet) pentru care suma tuturor unghiurilor intermediare este, fără eroare, egală cu 360°;

– generarea unghiurilor mici prin raportul dintre două lungimi asociat cu o funcție matematică.

Drept scări circulare închise se utilizează poligoane cu 5 ... 72 suprafețe reflectante, mese indexoare (divizoare) și măsuri circulare cu repere. Etalonarea scărilor circulare închise se poate realiza prin:

– compararea măsurilor unghiurilor definite de divizorul circular cu unul sau mai multe unghiuri test (de exemplu: unghiul dintre două autocolimatoare sau două microscoape);

– compararea măsurilor unghiurilor definite de divizorul circular cu un al doilea divizor circular în diferite poziții relative (de exemplu: două poligoane optice sau un poligon și o masă divizoare).

În funcție de realizările tehnice din domeniu, pot fi utilizate și alte metode (exemplu: metoda celor trei rozete), dar în fiecare caz erorile de divizare ale divizorului circular se determină prin metoda comparației cu un alt divizor circular.

Pentru reproducerea unghiurilor mici se pot utiliza instalații interferometrice, rigle de sinus sau de tangență sau alte echipamente.

Incertitudinea extinsă pentru reproducerea unității de unghi plan, determinată pentru nivelul de încredere $P^* = 95\%$, trebuie să nu depășească:

0,15" ... 0,25" la reproducerea unității de unghi plan bazată pe scări circulare închise;

0,04" la reproducerea unghiurilor mici.

3 Etaloane secundare

Etaloanele secundare sunt mijloacele de măsurare etalon ale căror valori sunt atribuite prin comparare cu etalonul primar și sunt utilizate pentru transmiterea unității la etaloanele de referință sau de lucru sau pentru verificarea mijloacelor de măsurare de lucru. Incertitudinea globală pentru transmiterea unității de unghi plan de la etaloanele secundare la etaloanele de referință sau la mijloacele de măsurare de lucru, determinată pentru nivelul de încredere $P^* = 95\%$, trebuie să nu depășească 0,35".

4 Etaloane de referință și de lucru

Sunt mijloacele de măsurare etalon utilizate pentru etalonarea mijloacelor de măsurare etalon cu un nivel de exactitate inferior sau pentru verificarea mijloacelor de măsurare de lucru.

Pentru mijloacele de măsurare etalon, schema de ierarhizare include incertitudinea de transmitere a unității de unghi plan de la etalonul primar la mijloacele de măsurare etalon sau de lucru, determinată pentru un nivel de încredere $P^* = 95\%$.

Pentru mijloacele de măsurare etalon, raportul dintre incertitudinile mijloacelor de de măsurare utilizate pentru etalonare și incertitudinile mijloacelor de măsurare etalonate, este cuprins în intervalul 1/10 ...1/2.

În schema de ierarhizare se disting două metode de transmitere a valorii unghiului plan:

a) metoda prin comparație care constă în măsurarea valorii etalonului prin comparație cu un alt etalon de aceeași categorie utilizând dispozitive de măsurare adecvate;

b) metoda directă care constă în verificarea directă a unui mijloc de măsurare, utilizând o măsură de unghi plan sau un mijloc de măsurare etalon ale cărui valori sunt măsurate cu ajutorul mijlocului de măsurare etalonat, fără utilizarea unor dispozitive suplimentare.

5 Mijloace de măsurare de lucru

În schema de ierarhizare, mijloacele de măsurare de lucru sunt aranjate în grupe de racordare la etaloanele de referință și de lucru.

Exactitatea mijloacelor de măsurare de lucru este caracterizată prin eroarea tolerată Δ sau prin valoarea diviziunii.

BIBLIOGRAFIE

[1] BIPM "Comite consultativ pour la definition du metre". Paris 1973, 1983, 1992.

[2] OIML – Buletin "Traceability in plane angle measurements – Methods of reproduction of plane angle units". Nr. 2, aprilie 1994.

[3] *I. Brezina*, ş.a., "Pozmok ku Kalibracil etalonovych polygonov". Merova Tehnika.

[4] *Cook A.*, "The calibration of circular scales and precision polygons". British Journal of Applied Physics, No.10/1954.

[5] *A. Duță*, s.a., "Etalon primar pentru reproducerea și transmiterea unității de unghi plan". Metrologia aplicată nr. 2/1981.

[6] *A. Millea*, "Trasabilitate: cerințe, implicații, efecte" Metrologie, vol. XLIV, nr. 1/1997.

[7] SR ISO 31-1: 1995 "Mărimi și unități. Partea 1: Spațiu și timp".

INFORMAȚII

MONITORUL OFICIAL AL ROMANIEI, PARTEA I, Nr. 271/21.VII.1998

GUVERNUL ROMÂNIEI

HOTĂRÂRE
Privind recunoașterea etaloanelor naționale

În temeiul art. 12 și 14 din Ordonanța Guvernului nr. 20/1992 privind activitatea de metrologie, aprobată și modificată prin Legea nr. 11/1994,

Guvernul României hotărăște:

Art. 1. – Se recunosc drept etaloane naționale etaloanele prevăzute în anexa care face parte integrantă din prezenta hotărâre.

Etaloanele naționale constituie baza unică legală pentru reproducerea, conservarea și transmiterea unităților de măsură tuturor celorlalte etaloane din România.

Art. 2. – Etaloanele naționale, împreună cu celelalte etaloane atestate din România, constituie baza științifică, tehnică și legală, de referință, a tuturor măsurărilor efectuate pe întreg teritoriul țării, precum și relațiile economice și tehnico-științifice cu alte țări.

Art. 3. – Etaloanele naționale prevăzute în anexă sunt deținute, întreținute, perfecționate, comparate, conservate și utilizate de către Institutul Național de Metrologie.

Art. 4. – Cheltuielile necesare lucrărilor de întreținere a etaloanelor naționale ale unităților de măsură, prevăzute în anexă, se asigură prin bugetul Biroului Român de Metrologie Legală, precum și din venituri proprii ale Institutului Național de Metrologie.

Perfecționarea, cercetarea în vederea dezvoltării bazei de etaloane naționale și compararea lor cu etaloanele internaționale se vor asigura de către Institutul Național de Metrologie și vor fi finanțate de, pe bază de contracte de cercetare dezvoltare, din bugetul Ministerului Cercetării și Tehnologiei.

Art. 5. – Biroul Român de Metrologie Legală este autorizat să completeze periodic lista etaloanelor naționale, în funcție de dezvoltarea Sistemului național de etaloane, prin ordin al directorului general, care va fi publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I.

PRIM-MINISTRU
RADU VASILE

București, 14 iulie 1998.
Nr. 384

ANEXĂ

Nr. crt.	Mărimea fizică (unitatea de măsură)	Denumirea etalonului	Numărul de inventar	Valori nominale, intervale	Proprietarul	Deținătorul
1	Lungime (metru)	Laser He-Ne stabilizat pe $^{127}I_2$	24.908	Lungimea de undă: 633×10^{-9}	Statul român, reprezentat de Birou Român de Metrologie Legală (BRML)	Institutul Național de Metrologie
2	Unghi plan (radian)	Instalație etalon de unghi plan	24.386	0...2π rad	Statul român, reprezentat de BRML	Institutul Național de Metrologie
3	Masă (kilogram)	Kilogram prototip din platină iridiată	15.334	1 kg	Statul român, reprezentat de BRML	Institutul Național de Metrologie
4	Presiune (pascal)	Manometru cu piston și greutăți	16.274	(25...175) 10^{-5} Pa	Statul român, reprezentat de BRML	Institutul Național de Metrologie
5	Timp (secundă) Frecvență (hertz)	Etalon de timp și frecvență cu ^{133}Cs	24. 983	1 Hz; 10^5 Hz; 10^6 Hz; 5×10^6 Hz	Statul român, reprezentat de BRML	Institutul Național de Metrologie
6	Forță (newton)	Ansamblu de trei mașini cu încărcare directă	17.964	10^5 N	Statul român, reprezentat de BRML	Institutul Național de Metrologie
7	Tensiune electrică în curent continuu (volt)	Grup de elemente normale	31.502	1,018 V	Statul român, reprezentat de BRML	Institutul Național de Metrologie
8	Tensiune electrică în curent alternativ (volt)	Convertoare termoelectrice de tensiune	24.849	1 V; 2 V (15...10^5) Hz	Statul român, reprezentat de BRML	Institutul Național de Metrologie
9	Rezistență electrică (ohm)	Grup de rezistoare etalon	17.363; 17.364 17.385; 17.399 17.444; 17.445 17.471; 17.531 17.532	1 Ω	Statul român, reprezentat de BRML	Institutul Național de Metrologie
10	Capacitate electrică (farad)	Grup de condensatoare etalon	23.286 23.288 23.289	10×10^{-12} F	Statul român, reprezentat de BRML	Institutul Național de Metrologie
11	Inductanță (henry)	Grup de inductoare etalon	17.207 22.163	10×10^{-13} H	Statul român, reprezentat de BRML	Institutul Național de Metrologie
12	Inducție magnetică (tesla)	Generator de inducție magnetică	16.164 16.165	(0...20) 10^{-6} T	Statul român, reprezentat de BRML	Institutul Național de Metrologie
13	Temperatură (kelvin)	Instalații pentru reproducerea Scării Internaționale de Temperatură	16.682 16.684 16.685	(273,15 ... 1273,15) K	Statul român, reprezentat de BRML	Institutul Național de Metrologie
14	Activitate (bequerel)	Instalații și surse de activitate alfa, beta și gama	16.022; 16.055 16.065; 16.070 16.071; 16.074 16.096; 16.097 16.098; 16.099 16.105; 21.078 21.079; 21.353 22.312; 23.240 23.242; 24.320	(2...10^6) Bq	Statul român, reprezentat de BRML	Institutul Național de Metrologie

Cursuri de perfecționare în domeniul metrologiei

Institutul Național de Metrologie organizează cursuri de perfecționare în domeniul metrologiei.

Condiții de organizare și participare sunt următoarele:
a) durata cursului: minim 4 zile
b) costul cursului: 120 000 lei /zi/persoană pentru un grup de 10...15 persoane
100 000 lei/zi/persoană pentru un grup de 16...20 persoane
c) număr de participanți: minim 10
d) cursanții vor primi mape cu suport de curs pentru toate cursurile predate
e) cursanții vor susține un test și vor primi un atestat de absolvire.

Tematica cursurilor

A. Cursuri generale

1. Sistemul Național de Etaloane
2. HG de recunoașterea etaloanelor naționale
3. Organisme și reglementări internaționale de metrologie
4. Reglementări naționale de metrologie
5. Controlul metrologic al statului: aprobări de model, etalonări, verificări metrologice
6. Trasabilitate. Scheme de ierarhizare a mijloacelor de măsurare
7. Noțiuni generale despre incertitudinea de măsurare

B. Cursuri de specialitate pe mărimi fizice

B1. Lungimi
1. Etalonul național al unității de lungime
2. Schema de ierarhizare a mijloacelor de măsurare a lungimii
3. Aplicații practice: etalonarea calelor plan paralele prin metoda comparativă, verificarea unor mijloacele de măsurare uzuale

B2. Unghiuri
4. Etalonul național al unității de unghi plan
5. Schema de ierarhizare a mijloacelor de măsurare a unghiului plan
6. Aplicații practice: etalonarea calelor unghiulare, controlul rectilinității și planeității

B3. Volume
7. Mărimi și unități de măsură pentru volume
8. Schema de ierarhizare a mijloacelor de măsurare a volumelor
9. Aplicații practice: verificarea /etalonarea unei măsuri metalice uzuale pentru lichide, verificarea unui contor de produse petroliere

B4. Mase
10. Etalonul național al unității de masă
11. Schema de ierarhizare a mijloacelor de măsurare a masei
12. Aplicații practice: verificarea /etalonarea greutăților de 20kg...1kg, 500 g...1g, 500mg...1mg de clasă $F1$, $F2$, $M1$ și $M2$.
Verificarea metrologică a aparatelor de cântărit cu funcționare neautomată, cu clase de exactitate: I, II, III.

B5. Presiuni
13. Etalonul național și etaloanele de referință ale unității de presiune
14. Schema de ierarhizare a mijloacelor de măsurare a presiunii
15. Aplicații practice: verificarea /etalonarea unui manometru cu element elastic, etalonarea unui traductor cu semnal de ieșire unificat. Determinarea erorilor și calculul incertitudinii de etalonare

B6. Acustică
16. Asigurarea trasabilității în domeniul mărimilor acustice. Schema de ierarhizare a mijloacelor de măsurare în domeniul mărimilor acustice
17. Prezentarea principalelor metode și mijloace pentru măsurare a mărimilor acustice, caracteristicile metrologice ale acestora, metode și instalații pentru verificarea/etalonarea acestora. Surse de erori și evaluarea incertitudinii de măsurare.

18. Aplicații practice: etalonarea microfoanelor etalon și surselor etalon de semnan acustic. Verificarea sonometrelor, audiometrelor, seturilor de filtre și urechilor artificiale.

B7. Temperaturi

19. Etalonul național al unității de temperatură. SIT 90.
20. Schema de ierarhizare a mijloacelor de măsurare a temperaturii
21. Prezentarea principalelor metode și mijloace pentru măsurarea temperaturii, caracteristicile metrologice ale acestora, metode și instalații pentru verificarea/etalonarea acestora. Surse de erori și evaluarea incertitudinii de măsurare. Aplicații practice

B8. Mărimi electrice

22. Etaloanele naționale și de referință ale unității mărimilor electrice
23. Schema de ierarhizare a mijloacelor de măsurare a mărimilor electrice
24. Prezentarea principalelor metode și mijloace pentru măsurarea mărimilor electrice, caracteristicile metrologice ale acestora, metode și instalații pentru verificarea/etalonarea acestora. Surse de erori și evaluarea incertitudinii de măsurare. (Aparate pentru măsurarea rezistenței, aparate pentru măsurarea curentului și tensiunii în curent continuu și alternativ, aparate pentru măsurarea puterii, energiei electrice și a factorului de putere, aparate pentru măsurarea rezistenței în curent alternativ, inductanței și a capacității). Măsuri în domeniul mărimilor electrice: rezistoare, inductoare, condensatoare de valoare unică, în decade și variabile.

B9. Frecvențe înalte

25. Metode de măsurare a tensiunii și puterii de înaltă frecvență
26. Metodă de măsurare a atenuării, domeniu de aplicare, incertitudine de măsurare
27. Principii și metode de măsurare a impedanței, coeficienților de reflexie și coeficienților de undă staționară. Surse de erori și calculul incertitudinilor.
28. Etaloane de referință: capete de măsurare a tensiunii în intervalul de frecvență 10 MHz...1000 MHz, senzori de putere etalon, atenuatoare etalon, linii coaxiale de referință

B10. Microsisteme de calcul în laboratoare de metrologie

29. Aparate inteligente de măsurare: clasificare, configurații și funcții, structuri de programe, probleme metrologice
30. Software metrologic: noțiuni privind utilizarea calculatoarelor în laboratoare de metrologie, metode de testare a programelor, asigurarea calității softului metrologic, problemele folosirii calculatoarelor și sistemelor de măsurare în laboratoare acreditate
31. Verificarea calculatoarelor de debit: clasificare, performanțe, trasabilitate, metode de verificare.

B11. Materiale de referință

32. Statutul materialelor de referință în schemele de trasabilitate
33. Estimarea incertitudinii de măsurare în cazuri tipice
34. Caracterizarea metrologică și etalonarea spectro(foto)metrelor analitice

B12. Mărimi fizico-chimice

35. Metode electrochimice de analiză
36. Etaloanele de referință în domeniile: conductivitate electrolitică, *p*H, densitate lichide, vâscozitate și umiditate gaze și lichide
37. Scheme de ierarhizare pentru domeniile mărimilor fizico-chimice
38. Caracteristici metrologice ale conductometrelor și *p*H-metrelor. Surse de erori și evaluarea incertitudinii de măsurare.

B13. Analiză gaze

39. Etaloanele de referință în domeniul concentrației de gaze
40. Scheme de ierarhizare pentru domeniul concentrației de gaze
41. Caracteristici metrologice ale mijloacelor de măsurare din domeniul concentrației de gaze. Surse de erori și evaluarea incertitudinii de măsurare. Aspecte specifice ale activității cu gaze/vapori toxici și potențial explozivi.

B14. Radiații ionizante

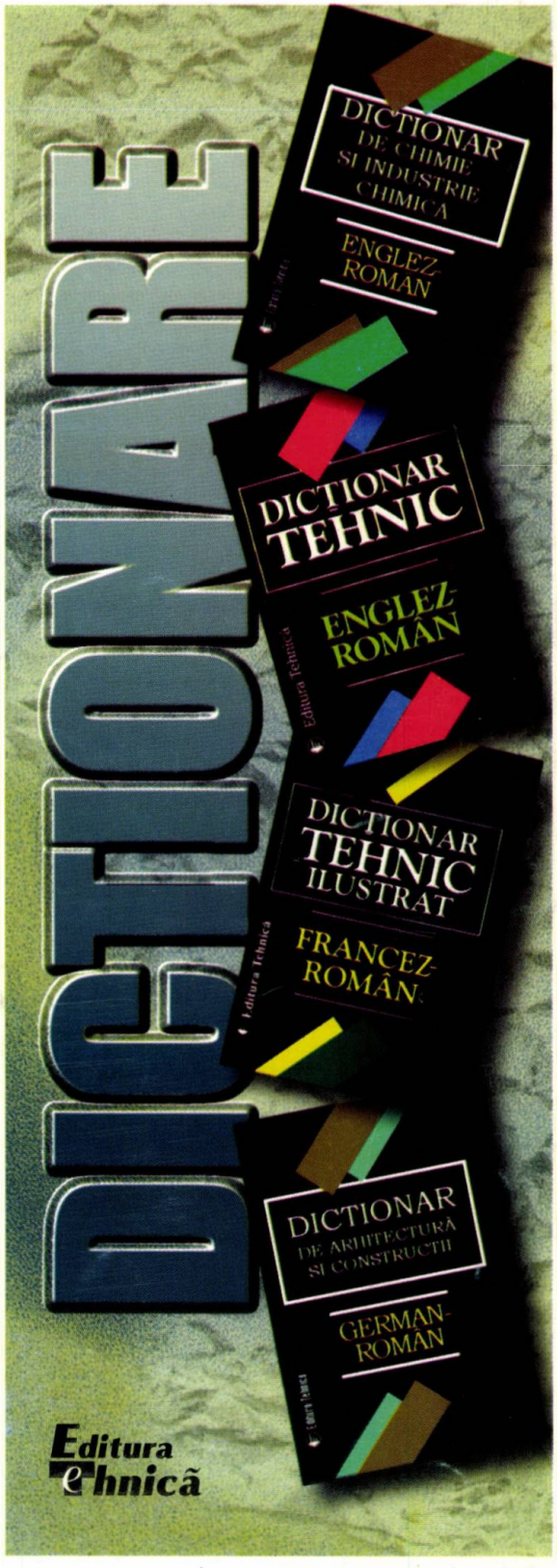
42. Etalonul național de activitate
43. Scheme de ierarhizare pentru mărimi de câmp de radiații
44. Mărimi caracteristice surselor de radiații alfa, beta, gama și surselor de neutroni
45. Mărimi caracteristice câmpurilor de radiații: expunere doză absorbită în aer, Kerma, echivalent de absorbanță.

Au apărut la
Editura Tehnică :

⇒ **Dicționar tehnic**
Englez - român
⇒ **Dicționar tehnic ilustrat**
Francez - român

Viitoare apariții la
Editura Tehnică :

⇒ **Dicționar de construcții și arhitectură**
German - român
⇒ **Dicționar de chimie și industrie chimică**
Englez - român



INM Nr2/1999

E8225 FF
8 000001 093652

metrologie

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONTI KÖNYVTÁR

SUMMARY

GELU POPOVICI: The national standard for d.c. electrical resistance 34

GELU POPOVICI, LIVIA DRAGOMIR: International comparison of standards in the field of electrical quantities 39

IOANA ODOR: The national standard of the measurement unit for a.c. electric voltage, U = (1... 1000) V, f = (0,02...100) kHz 46

RADU SOVIANY, MIHAI RIZEA, ION GLIGA: Standard installation for measuring low a.c. voltages 53

PAULA ILIE, MARIANA SIMIONESCU, LILIANA CÎRNEANU: The preservation of the measurement unit for voltage at the National Institute of Metrology in Romania 62

SOMMAIRE

GELU POPOVICI: L'étalon national de résistance électrique en courant continu 34

GELU POPOVICI, LIVIA DRAGOMIR: Comparaison internationale d'étalon dans le domaine des grandeurs électriques 39

IOANA ODOR: L'étalon national de l'unité de mesure pour la tension électrique en courant alternatif, U = (1... 1000) V, f = (0,02...100) kHz 46

RADU SOVIANY, MIHAI RIZEA, ION GLIGA: Installation étalon pour measurer les tensions alternatives réduites 53

PAULA ILIE, MARIANA SIMIONESCU, LILIANA CÎRNEANU: La conservation de l'unité de tension électrique à l'Institut National de Métrologie de Roumanie 62

REDACȚIA

INSTITUTUL NAȚIONAL DE METROLOGIE

Șos. Vitan-Bârzești nr. 11, sector 4, tel. 3344020
și 3345520/191; București; 75669

ISSN 1200-546 X

EDIȚIE REALIZATĂ SUB ÎNGRIJIREA

Editurii Tehnice

Piața Presei Libere 1, sector 1, București, cod poștal 71341,
tel. 222.66.30, fax 224.21.64

Cererile pentru abonamente vor fi adresate Editurii Tehnice S.A., Biroul de comenzi și desfacere,
București, str. Oteteleșeanu nr. 1, sector 1, cod poștal 70702. tel. 315.88.66
cont virament 303681801 BCR sector 1.
Costul unui abonament anual este 62 000 lei.

METROLOGIE

Publicaţie tehnico-ştiinţifică

editată de

INSTITUTUL NAŢIONAL DE METROLOGIE

SUMAR

GELU POPOVICI: Etalonul naţional de rezistenţă electrică în curent continuu 34

GELU POPOVICI, LIVIA DRAGOMIR: Intercomparareа unor etaloane din domeniul mărimilor electrice 39

IOANA ODOR: Etalonul naţional al unităţii de măsură a tensiunii electrice în curent alternativ, U = (1...1000) V, la f = (0,02...100) kHz 46

RADU SOVIANY, MIHAI RIZEA, ION GLIGA: Instalaţie etalon pentru măsurarea tensiunilor mici în curent alternativ 53

PAULA ILIE, MARIANA SIMIONESCU, LILIANA CÎRNEANU: Conservarea unităţii de tensiune electrică în institutul naţional de metrologie din România: 62

*

* *

Colectivul de redacţie: dr. ing. fiz. Dragoş Boiciuc (*redactor responsabil*), Viorica Burciu (*secretar de redacţie*), dr. ing. chim. Mirella Buzoianu, ing. Gabriel Iordăchescu, fiz. Gheorghe Ispăşoiu, dr. ing. Aurel Millea, ing. Ionel Urdea.

ETALONUL NAȚIONAL DE REZISTENȚĂ ELECTRICĂ ÎN CURENT CONTINUU

Gelu POPOVICI *)

Abstract: *The paper presents the procedures used at the National Institute of Metrology in order to assure the maintenance, the development and the operation of the national standard for d.c. electrical resistance. The methods used to determine the conventionally true value of the resistances in the group and the evaluation of the calibration uncertainty according to EAL-R2 document are also presented.*

Résumé: *On présente les modalités parmi lesquelles l'Institut National de Métrologie assure la conservation, le perfectionnement et l'utilisation de l'étalon national de résistance électrique en courant continu. On décrie les méthodes utilisées pour detérminer la valeur conventionnellment vraie des résistances du groupe et l'évaluation de l'incertitude d'étalonnement réalisée conformément au document EAL-R2.*

1 Introducere

Unitățile de tensiune și rezistență electrică în curent continuu stau la baza determinării celorlalte unități de măsură electromagnetice în curent continuu și alternativ de frecvență înaltă și joasă.

Etaloanele naționale de tensiune și rezistență electrică în curent continuu ale României sunt deținute, perfecționate, conservate și utilizate de către Institutul Național de Metrologie, prin hotărâre a Guvernului. Ele fac parte din sistemul național de etaloane ale unităților de măsură, care constituie baza științifică, tehnică și legală de referință pentru asigurarea uniformității, exactității și legalității măsurărilor efectuate pe teritoriul țării.

Scopul acestui articol este de a descrie componența etalonului național de rezistență electrică, precum și modul cum acesta este perfecționat, conservat și utilizat de către specialiștii din Institutul Național de Metrologie.

2 Scurt istoric

În anul 1962 grupul etalon național de rezistență electrică conținea 6 rezistoare de 1 Ω. Valoarea acestora a fost atribuită de la 2 rezistoare etalon itinerante etalonate la BIPM (Bureau International des Poids et Mesures). Începând cu acel an s-a urmărit, prin studii, comportarea în timp a rezistoarelor din grup. Grupul a fost completat în anul 1969 cu încă 3 rezistoare, iar în 1976 s-au mai adăugat 7. Din 1982 grupul etalon național conține 10 rezistoare cu valoarea nominală de 1 Ω.

În cadrul studierii comportării în timp, rezistoarele etalon itinerante au fost etalonate la BIPM în anii: 1962, 1967, 1977, 1981, 1988, 1991. Rezultatele acestor etalonări sunt consemnate în certificatele elaborate de BIPM.

În perioada dintre două etalonări la BIPM, valoarea rezistoarelor din componența etalonului național a fost atribuită anual prin comparare față de media grupului.

3 Descrierea etalonului național

Etalonul național de rezistență electrică este constituit dintr-un grup de 10 rezistoare etalon de valoare unică, tip P 321, fabricație ZIP Krasnodar, cu valoarea nominală de 1 Ω. Două dintre acestea sunt utilizate și ca etaloane itinerante, pentru preluarea unității de la BIPM.

Grupul se păstrează într-o încăpere termostatată la temperatura de 20°C ± 0,5°C și umiditatea relativă 50% ... 70%, în condiții de securitate împotriva distrugerii, furtului și manipulării inadecvate. Laboratorul care păstrează, conservă și utilizează etalonul național este *Laboratorul Mărimi*

*) Institutul Național de Metrologie, șos. Vitan Bârzești nr. 11, sector 4, București.

Electrice. Responsabilul etalonului național este numit prin decizie a conducerii institutului.

4 Utilizarea etalonului național

În vederea asigurării trasabilității etalonului național la etaloanele internaționale și a transmiterii unității de măsură, acesta este comparat periodic cu etalonul internațional de la BIPM; de asemenea, în Institutul Național de Metrologie se efectuează anual studii de comportare în timp și caracterizare metrologică. Aceste studii constau, în principal, în determinarea valorii convențional adevărate a rezistoarelor din grup, determinarea stabilității și calculul incertitudinii de etalonare. Determinarea valorii convențional adevărate se face prin etalonare față de două rezistoare itinerante, în anii când acestea sunt etalonate la BIPM sau prin comparare față de media grupului, în perioadele dintre două etalonări la BIPM.

4.1 *Modul de lucru și prelucrarea rezultatelor în cazul etalonării la BIPM*

4.1.1 În vederea asigurării trasabilității la etalonul internațional, unitatea este preluată de la BIPM prin intermediul a două rezistoare etalon itinerante, care fac parte din grupul etalon național. De la rezistoarele itinerante etalonate la BIPM, unitatea se transmite celorlalte 8 rezistoare martor din grupul național, utilizându-se ca mijloc de măsurare o punte comparator de curent continuu tip 9920, fabricație Guildline, care asigură o rezoluție de 1×10^{-7}. În timpul măsurărilor, rezistoarele sunt imersate în ulei, la o temperatură medie de 20,00°C ± 0,02°C.

Măsurările se fac cu metoda substituției. Se utilizează o metodologie de atribuire a valorilor elaborată în laborator și consemnată în documentația etalonului național [1].

Un ciclu de măsurare constă în următoarele:

– se măsoară etalonul itinerant cu puntea comparator, obținându-se valoarea R_{E1}

– se măsoară rezistorul etalon martor, obținându-se valoarea R_{XM}

– se măsoară din nou etalonul itinerant, obținându-se valoarea R_{E2}

– se calculează valoarea medie măsurată a etalonului itinerant cu relația:

$$R_{EM} = \frac{R_{E1} + R_{E2}}{2} \qquad (1)$$

– se efectuează cel puțin 10 astfel de cicluri de măsurare față de fiecare din cele două etaloane itinerante, calculându-se de fiecare dată diferențele:

$$r = R_{XM} - R_{EM} \qquad (2)$$

– se calculează media acestor diferențe cu relația:

$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^{n} r_i}{n} \qquad (3)$$

în care:

n numărul de cicluri de măsurare

– se calculează valoarea convențional adevărată a rezistorului care se etalonează cu relația:

$$R_X = R_E + \bar{r} + \delta R_D + \delta R_T - \delta R_{XT} \qquad (4)$$

în care:

R_E valoarea convențional adevărată a etalonului, din certificatul BIPM

r are semnificația dată mai sus

δR_D deriva în timp a valorii etalonului de la ultima etalonare

δR_T, δR_{XT} abaterile valorii etalonului, respectiv rezistorului care se etalonează datorită variației temperaturii ambiante.

4.1.2 Calculul incertitudinii de etalonare se face cu o metodologie elaborată conform recomandărilor EAL-R2 [2], luându-se în considerație contribuția fiecărui termen din relația (4), după cum urmează:

Rezistorul etalon R_E:

În certificatul emis de BIPM este înscrisă valoarea convențional adevărată R_E a etalonului itinerant determinată cu o incertitudine de etalonare extinsă U; aceasta este calculată pentru un factor de acoperire $k = 2$, corespunzător unui nivel de încredere de ≈ 95%.

Incertitudinea standard estimată pentru termenul R_E, în cazul unei distribuții de probabilitate normale, este:

$$u(R_E) = \frac{U}{k} \qquad (5)$$

Valoarea diferenței $\bar{r}$:

După cum s-a mai arătat, $\bar{r}$ se determină ca medie a valorilor obținute în $n = 10$ cicluri de măsurare.

Este cazul unei evaluări de tip A, distribuția de probabilitate este normală, iar incertitudinea corespunzătoare este egală cu abaterea standard experimentală a mediei, determinată cu relația generală:

$$u(r) = s_{\bar{r}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(r - \bar{r}^2)}{n(n-1)}} \qquad (6)$$

Deriva în timp a valorii etalonului δR_D:

Deriva în timp a valorii etalonului se estimează din studiile privind comportarea în timp a grupului etalon național, care include și rezistoarele itinerante. Aceste studii, efectuate de noi de-a lungul anilor, au dovedit o foarte bună stabilitate a valorilor acestora. De regulă, atribuirea valorii etalonului național se face imediat după etalonarea rezistoarelor itinerante la BIPM, durata pentru care trebuie luată în considerație deriva în timp a valorii etalonului de la ultima etalonare nefiind mai mare de câteva luni. De aceea, de obicei se estimează că deriva în timp a valorii etalonului R_E de la ultima sa etalonare este:

$$\delta R_D = 0,$$

cu variații probabile în intervalul $a = \pm 0{,}1\ \mu\Omega$.

Adoptând în acest caz o distribuție de probabilitate rectangulară, incertitudinea standard se determină cu relația:

$$u(\delta R_D) = \frac{a}{\sqrt{3}} \qquad (7)$$

Corecțiile datorită variației temperaturii δR_T, δR_{XT}:

Măsurările se efectuează în baia de ulei, la o temperatură medie de 20,00°C, care poate fi menținută constantă, cu o variație de ± 0,02°C. Temperatura în baia de ulei se măsoară cu un termometru cu mercur cu rezoluția de 0,01°C.

În cazurile în care temperatura în baie este diferită de 20°C, este necesară corectarea valorilor determinate ale rezistoarelor. Valoarea corecției datorită temperaturii, luând în considerare coeficientul de temperatură , este dată de relația:

$$\delta R_T = \alpha_E \times \Delta\Theta \qquad \delta R_{XT} = \alpha_X \times \Delta\Theta \qquad (8)$$

Luând în considerație gradienții de temperatură în baia de ulei și incertitudinea de etalonare a termometrului, se estimează o variație a valorii temperaturii rezistorului în intervalul ± 0,02°C. Adoptând o distribuție de probabilitate rectangulară, incertitudinea standard datorită temperaturii ambiante este:

$$u(\delta R_T) = a_E/\sqrt{3}, \text{ pentru etalon,} \qquad (9)$$

în care:

$$a_E = R_E \times \alpha_E \times \Delta\Theta \qquad (10)$$

și:

$$u(\delta R_{XT}) = a_X/\sqrt{3}, \text{ pentru măsurand,} \qquad (11)$$

în care:

$$a_X = R_X \times \alpha_X \times \Delta\Theta \qquad (12)$$

Incertitudinea standard compusă se calculează cu relația:

$$u_C(R_X) = \sqrt{\sum u_i^2(y)} \qquad (13)$$

Incertitudinea standard extinsă se calculează pentru un factor de acoperire $k = 2$, corespunzător unui nivel de încredere de ≈ 95%:

$$U(R_X) = k \times u_C(R_X). \qquad (14)$$

Bugetul incertitudinii se întocmește cu toate datele determinate după metodologia descrisă mai sus. În tabelul 3.1 este prezentat bugetul incertitudinii pentru un rezistor din grupul etalon național luat ca exemplu numeric.

4.2 *Modul de lucru și prelucrarea rezultatelor în cazul atribuirii valorii prin comparare față de media grupului*

4.2.1 În intervalul dintre două etalonări la BIPM, în cadrul studiilor anuale privind comportarea în timp, atribuirea valorii rezistoarelor componente ale etalonului național se face prin compararea acestora față de valoarea medie a grupului.

Metodologia de etalonare se prezintă în cele ce urmează.

Cele 10 rezistoare din componența etalonului național se compară între ele în toate combinațiile posibile, completându-se tabelul 3.2, în care:

M_i ($i = 1 \ldots 10$) sunt mediile diferențelor dintre valorile a două rezistoare măsurate consecutiv (pentru 10 cicluri)

X_i ($i = 1 \ldots 10$) sunt valorile individuale ale rezistoarelor R_i.

Tabelul 3.1

Mărime X_i	Estimare x_i	Incertitudine standard $u(x_i)$	Distribuție de probabilitate	Coeficient de sensibilitate c_i	Incertitudine parțială $u_i(y)$
R_E	0,9999833Ω	0,15 μΩ	normală	1	0,15 μΩ
$r = R_{EM} - R_{XM}$	0,0122 mΩ	0,07 μΩ	normală	1	0,07 μΩ
δR_D	0	0,1 μΩ	rectangulară	1	0,1 μΩ
δR_T	0	0,04 μΩ	rectangulară	1	0,04 μΩ
δR_{XT}	0	0,06 μΩ	rectangulară	1	0,06 μΩ
R_X	0,9999955 Ω				0,21 μΩ

Rezultate: $R_X = 0{,}9999955\ \Omega$, $u_c(R_X) = 2 \times 10^{-7}$, $U(R_X) = 4 \times 10^{-7}$.

Tabelul 3.2

	R_1	R_2	...	R_n	M_i	X_i
R_1	0	$R_1 - R_2$	$R_1 - \ldots$	$R_1 - R_n$	M_1	X_1
R_2	$R_2 - R_1$	0	$R_2 - \ldots$	$R_2 - R_n$	M_2	X_2
...	...	...	...	...	...	...
R_n	$R_n - R_1$	$R_n - R_2$	$R_n - \ldots$	0	M_n	X_n

Aceste valori se obțin cu relațiile:

$$M_1 = \frac{(R_1 - R_1) + (R_1 - R_2) + \ldots + (R_1 - R_n)}{n}$$

$$X_1 = M_G + M_1$$

$$M_2 = \frac{(R_2 - R_1) + (R_2 - R_2) + \ldots + (R_2 - R_n)}{n} \quad (15)$$

$$X_2 = M_G + M_2$$

. . . . . .

$$M_n = \frac{(R_n - R_1) + (R_n - R_2) + \ldots + (R_n - R_n)}{n}$$

$$X_n = M_G + M_n$$

în care:

M_G valoarea medie a grupului.

Valoarea convențional adevărată a fiecărui etalon de rezistență electrică din componența grupului național se calculează ca medie a valorilor determinate în n cicluri de măsurare:

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \quad (16)$$

Abaterea standard experimentală a măsurărilor individuale, s, se determină cu relația:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2}{n-1}} \quad (17)$$

Abaterea standard experimentală a mediei, $s_{\overline{X}}$, se determină cu relația:

$$s_{\overline{X}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (18)$$

4.2.2 Determinarea incertitudinii de etalonare

În cele ce urmează se prezintă metoda de evaluare a incertitudinii de etalonare, întocmită în conformitate cu recomandările Documentului EAL-R2 [2].

Tabelul 3.3

Mărime X_i	Estimare x_i	Incertitudine standard $u(x_i)$	Distribuție de probabilitate	Coeficient de sensibilitate c_i	Incertitudine parțială $u_i(y)$
M_G	0,99997766 Ω	$0{,}08 \times 10^{-6}$	normală	1	$0{,}08 \times 10^{-6}$
M	– 0,01145 mΩ	0,09 ö 10^{-6}	normală	1	$0{,}09 \times 10^{-6}$
X	0,99996621 Ω				0,12 ö 10^{-6}

Rezultate: $X = 0{,}9999662$ Ω, $u_C(X) = 0{,}12 \times 10^{-6}$, $U(X) = 0{,}24 \times 10^{-6}$.

Relația de calcul a valorii rezistoarelor derivă din relația (15):

$$X = M_G + M \qquad (19)$$

în care:

M_G este valoarea medie a grupului

M media diferențelor dintre valorile a două rezistoare măsurate consecutiv (aceeași semnificație ca în relațiile (15).

Fiecare din termenii relației (19) are contribuția sa la incertitudinea de măsurare a rezistorului X.

Valoarea medie a grupului M_G: Această valoare este menținută constantă în cadrul temelor de cercetare privind atribuirea valorii rezistoarelor din grupul etalon național. De la ultima atribuire a valorii din 1996, aceasta este:

$$M_G = 0{,}99997766\ \Omega,$$

și se determină cu o incertitudine standard combinată corespunzătoare unei distribuții de probabilitate normale u_C.

Incertitudinea standard corespunzătoare estimării mărimii M_G este:

$$u(M_G) = u_C\,. \qquad (20)$$

Media diferențelor M:

Toate rezistoarele din grup sunt măsurate cu același mijloc de măsurare, deci contribuțiile incertitudinilor sunt corelate; de aceea pentru evaluarea incertitudinii parțiale se consideră numai contribuția efectelor sistematice. Avem și aici de a face cu o distribuție de probabilitate normală. Se determină valorile $\overline{M}$, s și $s_{\overline{M}}$ cu relațiile (16), (17), (18).

Incertitudinea standard, corespunzătoare unei distribuții de probabilitate normale, este în acest caz egală cu abaterea standard a mediei:

$$u(M) = s_{\overline{M}}\,. \qquad (21)$$

Incertitudinea standard compusă se calculează cu relația (13):

$$u_C(X) = \sqrt{\sum u_i^2\,(y)}$$

Incertitudinea standard extinsă se calculează pentru un factor de acoperire $k = 2$, corespunzător unui nivel de încredere de ≈ 95%, cu relația (14):

$$U(X) = k \times u_C(X)$$

Cu rezultatele obținute în urma determinărilor făcute așa cum am arătat până acum, se întocmește bugetul incertitudinii, care se prezintă sub formă de tabel.

În tabelul 3.3 este prezentat, ca exemplu, bugetul incertitudinii pentru unul din rezistoarele din componența grupului etalon național.

5 Concluzii

Studiile privind comportarea în timp și caracterizarea metrologică a etalonului național de rezistență electrică au scos în evidență o bună stabilitate anuală a acestuia, cuprinsă în intervalul $(2 \ldots 6) \times 10^{-7}$. Incertitudinea de etalonare a rezistoarelor din componența etalonului național a fost de $(2 \ldots 4) \times 10^{-7}$.

Prin aceste studii s-a asigurat trasabilitatea etalonului național la etalonul internațional de la BIPM, precum și transmiterea unității la celelalte etaloane și mijloace de măsurare, conform schemei de ierarhizare, la un nivel corespunzător cerințelor economiei.

BIBLIOGRAFIE

[1] Documentația etalonului național al unității de măsură ***ohm*** a rezistenței electrice în curent continuu

[2] EAL-R2 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration.

INTERCOMPARAREA UNOR ETALOANE DIN DOMENIUL MĂRIMILOR ELECTRICE

Gelu POPOVICI *)
Livia DRAGOMIR *)

Abstract: *The paper presents the participation of the electrical quantities laboratory of the National Institute of Metrology in the international comparison coordinated by Nederlands Meetinstituut – Van Swinden Laboratorium (NMi-VSL). The calibration methods and the layouts used in the process are presented as well as the evaluation of the calibration uncertainty according to the EAL-R2 document. The results of the calibrations, which are practically equal to those obtained by the pilot laboratory (NMi-VSL), are emphasized.*

Résumé: *On présente la participation du laboratoire des grandeurs électriques de l'Institut National de Métrologie à la comparaison internationale coordonée par Nederlands Meetinstituut – Van Swinden Laboratorium (NMi-VSL). On décrie les méthodes d'étalonnement et les montages utilisés, aussi que l'évaluation de l'incertitude de mesurage réalisée conformement au document EAL-R2. On souligne les résultats obtenus qui sont practiquement égales avec ceux du laboratoire pilot, NMi-VSL.*

1 Introducere

În perioada 15.12.1997 – 23.04.1998, în cadrul programului PRAQ III al Comitetului European pentru Standardizare (CEN, European Committee for Standardization) finanțat de PHARE, a avut loc o intercomparare de etaloane din domeniul mărimilor electrice organizată și coordonată de Nederlands Meetinstituut Van Swinden Laboratorium (NMi-VSL), la care au participat laboratoare ale institutelor naționale de metrologie din următoarele 13 țări central și est europene (în ordine alfabetică): Albania, Bosnia și Herțegovina, Bulgaria, Republica Cehă, Estonia, Ungaria, Letonia, Lituania, Macedonia, Polonia, România, Slovacia și Slovenia.

Perioada de timp rezervată măsurărilor în laboratoarele participante a fost 23.02.1998 – 02.04.1998. Pentru a putea concentra măsurările în această perioadă au fost constituite 3 seturi de etaloane, conținând fiecare: un etalon de tensiune în curent continuu și două rezistoare etalon, care au circulat în paralel, fiind însoțite de câte un specialist de la NMi-Van Swinden Laboratorium, în cele 13 laboratoare împărțite la rândul lor în 3 grupe (5 + 5 + 3).

Obiectivele urmărite prin derularea programului au constat în:

– verificarea competenței laboratoarelor participante de a efectua etalonări de înaltă exactitate;

– verificarea modului de determinare și raportare a incertitudinii de etalonare;

– analiza măsurii în care etaloanele laboratoarelor participante sunt trasabile la etaloanele internaționale;

– familiarizarea laboratoarelor participante cu tehnicile Uniunii Europene;

– realizarea unui schimb de informații între institutele de metrologie din Europa Occidentală și cele din țările participante.

România a fost reprezentată la această intercomparare de către Laboratorul Mărimi Electrice din Institutul Național de Metrologie.

Etaloanele supuse intercomparării aparțin NMi-VSL; acestea au fost:

– un etalon electronic de tensiune cu diode Zener tip 732 B, fabricație Fluke – SUA, cu tensiunile de ieșire de 1,018 V și 10 V;

*) Institutul Național de Metrologie, șos. Vitan Bârzești nr. 11, sector 4, București.

– două rezistoare etalon tip 9334-10 şi 9334-10k, fabricaţie Guildline – Canada, de 10 Ω şi 10 000 Ω.

2 Tipul intercomparării

Intercompararea a fost organizată ca o combinaţie între tipurile circular şi radial. Determinarea valorii convenţional adevărate a etaloanelor la NMi-VSL s-a făcut o dată înaintea începerii măsurărilor în ţările participante, o dată în cursul intercomparării şi încă o dată după terminarea măsurărilor în ţările participante. Este de menţionat faptul că determinarea acestor valori de referinţă s-a făcut la NMi-VSL cu ajutorul etalonului primar bazat pe efectul Josephson.

3 Modul de lucru

Lucrările, constând în determinarea valorilor convenţional adevărate ale etaloanelor aparţinând NMi-VSL şi a incertitudinilor de etalonare, s-au desfăşurat în laboratorul Mărimi Electrice din Institutul Naţional de Metrologie, în perioada 25 – 26 martie 1998, conform programului stabilit iniţial [1].

Cele trei etaloane au fost transportate în România de către dr. *Feike Liefrink*, specialist al NMi-VSL, care a asistat la măsurări, fără să intervină în vederea influenţării lor.

Valorile convenţional adevărate ale etaloanelor au fost determinate cu instalaţiile, etaloanele şi metodologiile utilizate uzual în laboratorul nostru, iar calculul incertitudinii de etalonare s-a făcut conform Documentului EAL-R2 [2].

Pentru ca acest articol să nu devină prea lung, vom descrie, în cele ce urmează, cum s-a făcut etalonarea etalonului de tensiune 732 B Fluke, urmând ca etalonarea celor două rezistoare etalon să fie tratată într-un alt articol.

Etalonul 732 B Fluke este de fapt o sursă calibrată de tensiune cu diode Zener, capabilă să furnizeze la cele două perechi de borne tensiuni etalon cu valoarea nominală de 10 V şi 1,018 V (fig.1). Acest model de sursă calibrată se foloseşte în mod uzual ca etalon itinerant sau de transfer.

Caracteristicile tehnice principale ale acestui etalon sunt date în tabelul 1.

Valorile convenţional adevărate ale tensiunilor de ieşire (10 V şi 1,018 V) ale etalonului 732 B supus etalonării, au fost determinate cu metoda diferenţială, folosind ca referinţă un etalon de acelaşi tip, din dotarea laboratorului nostru, etalonat la PTB în data de 12.03.1998. Diferenţa dintre tensiunile de ieşire ale celor două etaloane a

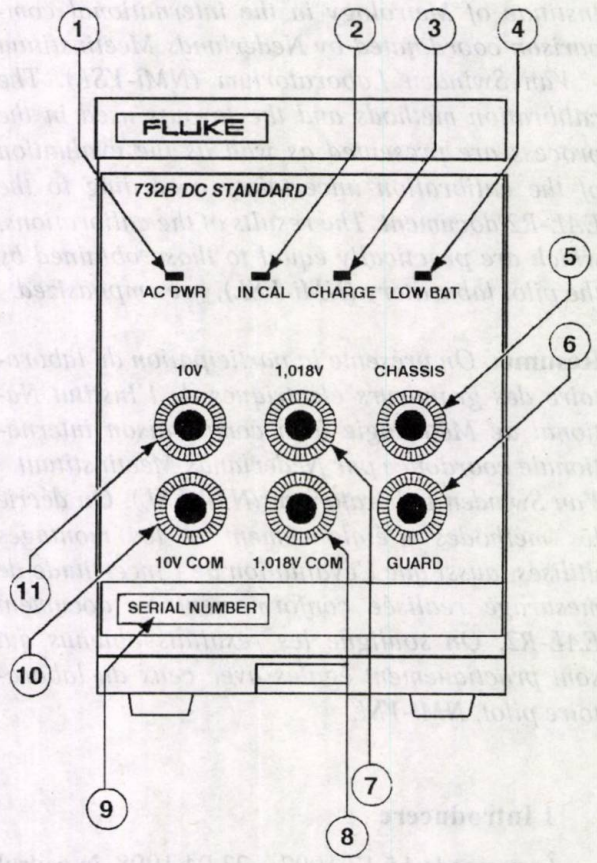


Fig. 1 Vedere frontală a etalonului 732 Fluke;
10, 11 – borne de ieşire pentru valoarea nominală de 10 V
7, 8 – borne de ieşire pentru valoarea nominală de 1,018 V

Tabelul 1

Caracteristicile tehnice principale ale etalonului de tensiune

Tensiune de ieşire	Stabilitate (ppm)			Coeficient de temperatură (ppm/K)	Curent de ieşire	Impedanţă de ieşire
	30 zile	90 zile	1 an			
10 V	0,3	0,8	2,0	≤ 0,04	12 mA	1 mΩ
1,018 V	0,8	–	–	≤ 0,1	–	1 kΩ

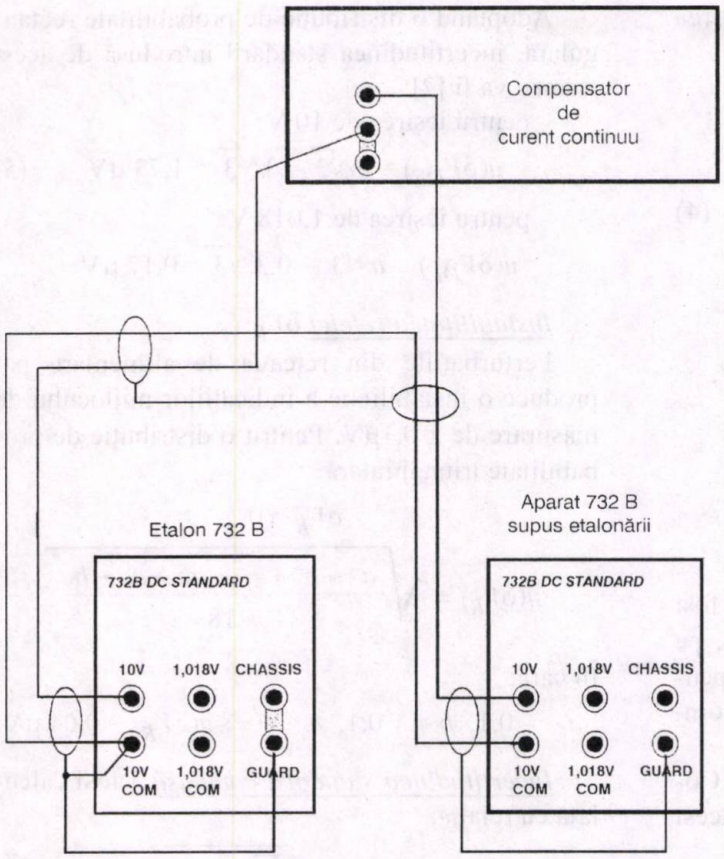


Fig. 2 Schema montajului de măsurare cu metoda diferențială

fost măsurată cu un compensator de curent continuu tip P 345, fabricație URSS, cu o rezoluție de 0,1 μV. A fost utilizat montajul din figura 2. Măsurările s-au efectuat în aer, la o temperatură ambiantă de 20°C ± 0,5°C, măsurată cu un termometru cu mercur. S-au efectuat 15 cicluri de măsurări pentru valoarea de 10 V și 16 cicluri de măsurări pentru valoarea de 1,018 V.

Pentru calculul valorilor convențional adevărate ale tensiunilor la bornele etalonului supus etalonării, a fost folosită relația:

$$V_X = V_E + \Delta V + \delta V_C + \delta V_{DE} + \delta V_R \qquad (1)$$

în care:

V_E valoarea etalonului de referință, Fluke 732 B, atribuită la PTB cu certificatul de etalonare nr.1815/12.03.98

$\Delta V = V_{XI} - V_{EI}$ diferența între măsurand și valoarea etalonului, indicată de compensator

δV_C corecția indicațiilor compensatorului cu care s-au făcut măsurările

δV_{DE} corecție care exprimă modificarea valorii V_E de la ultima sa etalonare, datorită derivei în timp

δV_R corecție care exprimă influența unor instabilități ale rețelei asupra indicațiilor compensatorului.

Relația (1) a fost folosită de asemenea și la calculul incertitudinii de etalonare.

În cele ce ce urmează vom arăta cum au fost evaluate contribuțiile termenilor din relația (1) pentru a se determina incertitudinea de etalonare a mărimii V_X în conformitate cu recomandările documentului EAL – R2 și cum a fost întocmit bugetul incertitudinii.

Valoarea etalonului V_E:

Valoarea etalonului a fost atribuită la PTB cu certificatul de etalonare nr.1815/12.03.98 și este:

V_E = 1,018 110 4 V la bornele de 1,018 V

V_E = 9,999 993 V la bornele de 10 V

Incertitudinea de etalonare extinsă este $U(V_E) = 5 \times 10^{-7}$, calculată pentru un factor de acoperire $k = 2$, corespunzător unui nivel de încredere de ≈ 95%.

Distribuția de probabilitate este normală, deci incertitudinea parțială introdusă de termenul V_E este, conform [2]:

$$u(V_E) = U(V_E)/k = 2{,}5 \times 10^{-7}, \qquad (2)$$

ceea ce în unități de tensiune înseamnă 2,5 μV pentru valoarea de 10 V și 0,25 μV pentru valoarea de 1,018 V.

Indicațiile compensatorului $\Delta V = V_{XI} - V_{EI}$:

Valoarea ΔV reprezintă diferența dintre măsurand și valoarea etalonului și a fost calculată ca medie a valorilor obținute în n cicluri de măsurare (n = 15 cicluri de măsurare pentru valoarea de 10 V, n = 16 cicluri de măsurare pentru valoarea de 1,018 V):

$$\overline{\Delta V} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta V_i}{n} \qquad (3)$$

Contribuția acestui termen la incertitudinea de etalonare este o componentă de tip A (distribuție

de probabilitate normală) şi este egală cu abaterea standard experimentală a mediei:

$$u(\Delta V) = s_{\overline{\Delta V}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\Delta V_i - \overline{\Delta V})^2}{n(n-1)}} \qquad (4)$$

S-au obţinut valorile:

– pentru ieşirea de 10 V:

$\overline{\Delta V} = 3{,}83\ \mu V$, $u(\Delta V) = s_{\overline{\Delta V}} = 0{,}02\ \mu V$,

– pentru ieşirea de 1,018 V:

$\overline{\Delta V} = 31{,}5\ \mu V$, $u(\Delta V) = s_{\overline{\Delta V}} = 0{,}01\ \mu V$.

Corecţia indicaţiilor compensatorului δV_C:

Corecţia indicaţiilor compensatorului a fost luată din certificatul de etalonare al acestuia, pe decade, în funcţie de valoarea indicată de compensator. Incertitudinea de etalonare extinsă a compensatorului este $U = 0{,}01\ \mu V$ (pentru $k = 2$).

Distribuţia de probabilitate este normală. Corecţia şi incertitudinea parţială introdusă de acest termen este:

– pentru ieşirea de 10 V:

$\delta V_C = 0$, $u(\delta V_C) = U/k = 0{,}005\ \mu V \approx 0$

– pentru ieşirea de 1,018 V:

$\delta V_C = -0{,}01\ \mu V$, $u(\delta V_C) = U/k = 0{,}005\ \mu V$.

Deriva în timp a valorii etalonului de la ultima etalonare δV_{DE}:

Deocamdată nu dispunem de date privind stabilitatea valorii etalonului 732 B pe termen lung. Totuşi, din măsurările efectuate până acum, am constatat că variaţia valorii pe termen scurt este aleatoare. De aceea estimăm $\delta V_{DE} = 0$, pentru ambele ieşiri.

Pentru evaluarea incertitudinii parţiale, am luat în considerare specificaţiile din prospect, care indică o instabilitate a valorii de $\pm 3\ \mu V$/lună pentru ieşirea de 10 V şi $\pm 0{,}8\ \mu V$/lună pentru ieşirea de 1,018 V. După cum am specificat mai înainte, etalonarea etalonului 732 B s-a efectuat la PTB la data de 12.03.98, adică cu aproape 2 săptămâni înaintea lucrării care face obiectul acestui articol. De aceea, având în vedere şi variaţia aleatoare a valorii pe termen scurt, am considerat că δV_{DE} poate varia cu: $\pm 3\ \mu V$ ($a = 3\ \mu V$), respectiv $\pm 0{,}3\ \mu V$ ($a = 0{,}3\ \mu V$).

Adoptând o distribuţie de probabilitate rectangulară, incertitudinea standard introdusă de acest termen,va fi [2]:

– pentru ieşirea de 10 V:

$$u(\delta V_{DE}) = a/\sqrt{3} = 3/\sqrt{3} = 1{,}73\ \mu V \qquad (5)$$

– pentru ieşirea de 1,018 V:

$u(\delta V_{DE}) = a/\sqrt{3} = 0{,}3/\sqrt{3} = 0{,}17\ \mu V$.

Instabilitatea reţelei δV_R:

Perturbaţiile din reţeaua de alimentare pot produce o instabilitate a indicaţiilor mijlocului de măsurare de $\pm 0{,}1\ \mu V$. Pentru o distribuţie de probabilitate triunghiulară:

$$\delta V_R = 0$$

$$u(\delta V_R) = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}} \qquad (6)$$

În care:

$a = -0{,}1$, $b = +0{,}1$, $c = 0 \Rightarrow u(\delta V_R) = 0{,}04\ \mu V$.

Incertitudinea standard compusă a fost calculată cu relaţia:

$$u_C(Y) = \sqrt{\sum u_i^2(y)} \qquad (7)$$

Incertitudinea standard extinsă s-a calculat pentru un factor de acoperire $k = 2$, corespunzător unui nivel de încredere de $\approx 95\%$:

$$U(Y) = k \times u_C(Y) \qquad (8)$$

Folosind modul de calcul descris mai sus, s-a întocmit bugetul incertitudinii pentru cele două valori nominale ale etalonului Fluke 732 B, ca în tabelele de mai jos.

Rezultatele obţinute au fost raportate într-un certificat de etalonare astfel:

– valoarea convenţional adevărată:

9,999 997 V, pentru ieşirea de 10 V

1,018 141 9 V, pentru ieşirea de 1,018 V

– incertitudinea de etalonare extinsă, pentru un factor de acoperire $k = 2$, ($P \approx 95\%$):

$$U = 6 \times 10^{-7}.$$

4 Rezultate

Rezultatele etalonărilor au fost consemnate în certificate de etalonare întocmite pentru cele trei etaloane şi în trei rapoarte care descriu modul de lucru şi calculul incertitudinii, aşa cum am arătat la

Bugetul incertitudinii

pentru ieşirea de 10 V:

Mărime X_i	Estimare x_i	Incertitudine standard $u(x_i)$	Distribuţie de probabilitate	Coeficient de sensibilitate c_i	Incertitudine parţială $u_i(y)$
V_E	9,999 993 V	2,5 μV	normală	1	2,50 μV
ΔV	3,83 μV	0,02 μV	normală	1	0,02 μV
δV_{DE}	0	1,73 μV	rectangulară	1	1,73 μV
δV_R	0	0,04 μV	triunghiulară	1	0,04 μV
V_X	**9,999 996 8 V**				3,04 μV

pentru ieşirea de 1,018 V:

Mărime X_i	Estimare x_i	Incertitudine standard $u(x_i)$	Distribuţie de probabilitate	Coeficient de sensibilitate c_i	Incertitudine parţială $u_i(y)$
V_E	1,018 110 4 V	0,25 μV	normală	1	0,25 μV
ΔV	31,50 μV	0,01 μV	normală	1	0,01 μV
δV_C	– 0,01 μV	0,005 μV	normală	1	0,005 μV
δV_{DE}	0	0,17 μV	rectangulară	1	0,17 μV
δV_R	0	0,04 μV	triunghiulară	1	0,04 μV
V_X	**1,018 141 89 V**				0,305 μV

capitolul 4. Acestea au fost înmânate specialistului de la NMi.

Documentele de acest fel, elaborate de toate cele 13 laboratoare participante, au fost colectate la NMi unde, pe baza rezultatelor consemnate, s-a întocmit *Raportul final* [3], care a fost distribuit participanţilor. Raportul este confidenţial, laboratoarele participante nefiind nominalizate, ci marcate cu un număr (de la 1 la 13).

Laboratorului nostru îi corespunde numărul 10.

Rezultatele etalonărilor au fost prelucrate şi prezentate în *Raportul final* sub formă de tabele şi reprezentări grafice.

Tabelul 2 prezintă rezultatele măsurărilor, sub forma abaterii valorilor de la valoarea nominală, efectuate în cele 13 laboratoare participante la intercomparare şi la laboratorul de referinţă (NMi), nominalizat cu simbolul *NL*.

În figura 3*a* sunt reprezentate grafic abaterile relative Δ ale rezultatelor obţinute în cele 13 laboratoare participante faţă de cele obţinute la NMi, calculate cu relaţia:

$$\Delta_{1\ \ldots\ 13} = \frac{V_{\text{lab}}(t) - V_{\text{ref}}(t)}{V_{\text{nom}}} \qquad (9)$$

în care:

$V_{\text{lab}}(t)$ valoarea convenţional adevărată a tensiunii la bornele etalonului 732 B determinată în laboratorul participant, la momentul t

$V_{\text{ref}}(t)$ valoarea convenţional adevărată a tensiunii la bornele etalonului 732 B determinată în laboratorul de referinţă (NMi), calculată pentru momentul t, luând în consideraţie şi deriva în timp

V_{nom} valoarea nominală la bornele etalonului 732 B (10 V, respectiv 1,018 V).

Incertitudinea abaterii Δ a fost calculată cu relaţia:

$$U(\Delta) = \frac{\sqrt{U_{\text{lab}}^2 + U_{\text{ref}}^2}}{V_{\text{nom}}} \qquad (10)$$

Tabelul 2

Rezultatele intercomparării

VOLTAGE							
ID	Date	V_{lab} – 1,018 V (μV)	V_{lab} – 10 V (μV)	Thermistor (kW)	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Pressure (hPa)
NL	18 February	176,9 ± 0,3	–2,9 ± 3,0	39,080 ± 0,010	23,1 ± 0,5	41 ± 5	1032 ± 2
1	26 February	173,8 ± 1,1	not	39,037 ± 0,004	22,4 ± 0,2	45 ± 5	
2	4 March	177± 6	–7 ± 3	38,980 ± 0,007	23± 1	40 ± 10	
3	10 March	176,7 ± 1,2	not	39,255	20,0 ± 0,5	45 ± 10	1002
NL	13 March	176,8 ± 0,3	–3,8 ± 3,0	39,079 ± 0,010	22,4 ± 0,5	43 ± 5	1028 ± 2
4	19 March	not	–5,0 ± 0,1	39,090 ± 0,002	21,5 ± 0,5	27,1 ± 1,2	1003 ± 1
5	25 March	176,3 ± 4,0	–3 ± 10	38,906 ± 0,020	24 ± 1	30 ± 10	
NL	31 March	176,6 ± 0,3	–4,8 ± 3,0	39,036 ± 0,010	22,4 ± 0,5	42 ± 5	1016 ± 2
NL	18 February	141,9 ± 0,3	–1,4 ± 3,0	39,553 ± 0,010	23,1 ± 0,5	41 ± 5	1032 ± 2
6	24 February	140,7 ± 0,6	–4 ± 9	39,512± 0,001	22,54 ± 0,02	28 ± 1	960 ± 1
7	3 March	142,8 ± 2,0	not	39,47	20,0 ± 0,2	65 ± 20	
8	10 March	143,1± 2,5	4 ± 26	39,596 ± 0,001 39,593 ± 0,001	20,0 ± 0,2	60 ± 10	1020 ± 10
NL	13 March	142,0 ± 0,3	–3,0± 3,0	39,523 ± 0,010	22,4 ± 0,5	43 ± 5	1028 ± 2
9	19 March	156 ± 23	52 ± 258	39,68 ± 0,06 39,50 ± 0,18	22,0 ± 0,3 20,8 ± 0,4	76	999 998
10	**26 March**	**141,9 ± 0,6**	**–3 ± 6**	**39,580 ± 0,010**	**20,0 ± 0,5**	**55 ± 5**	**1015 ± 1**
NL	31 March	142,0 ± 0,3	–3,5 ± 3,0	39,497 ± 0,010	22,4 ± 0,5	42 ± 5	1016 ± 2
NL	18 February	226,3 ± 0,3	–4,9 ± 3,0	38,837 ± 0,010	23,1 ± 0,5	41 ± 5	1032 ± 2
11	25 February	229,4 ± 3,6	not		20,5 ± 0,1	56 ± 5	
12	4 March	not	0 ± 50		24 ± 1	51	1020
NL	13 March	226,2 ± 0,3	–5,2 ± 3,0	38,832 ± 0,010	22,4 ± 0,5	43 ± 5	1028 ± 2
13	25 March	220 ± 58	12 ± 600		24		
NL	31 March	226,2 ± 0,3	–4,9 ± 3,0	38,808 ± 0,010	22,4 ± 0,5	42 ± 5	1016 ± 2

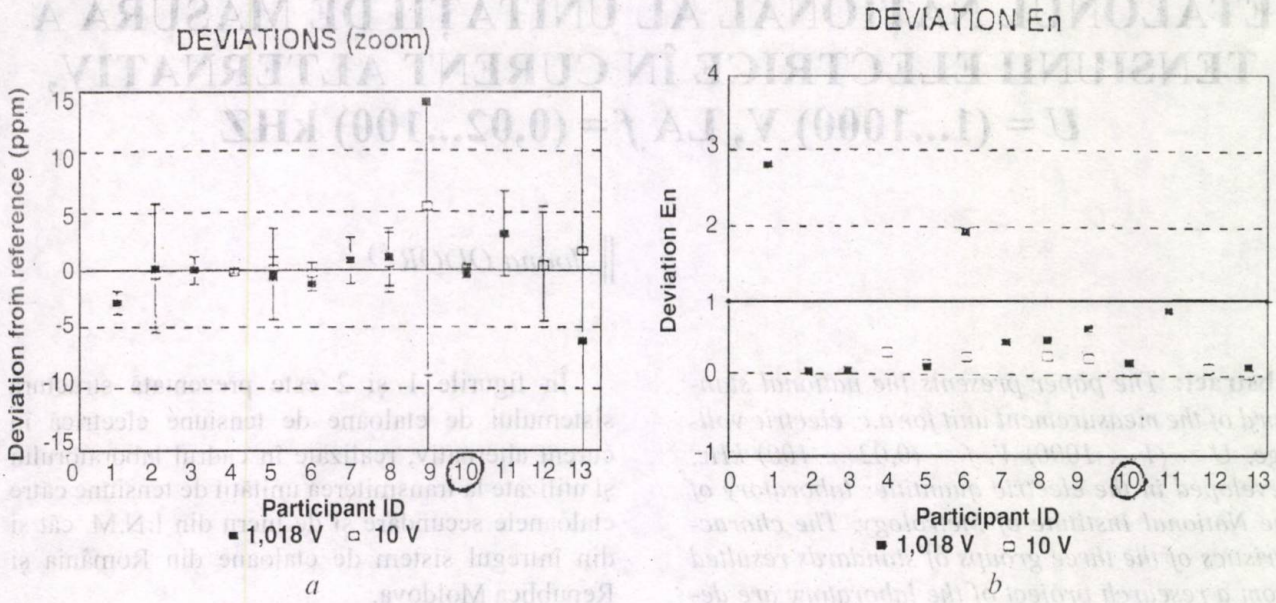


Fig. 3 Reprezentare grafică a rezultatelor intercomparării;
a – abaterile relative Δ; *b* – abaterile E_n; 10 reprezintă numărul corespunzător laboratorului Mărimi Electrice din INM.

în care:

U_{lab} incertitudinea extinsă a termenului $V_{lab}(t)$ așa cum este dată în certificatul de etalonare

U_{ref} incertitudinea extinsă a termenului $V_{ref}(t)$.

În figura 3*b* rezultatele etalonării sunt prezentate sub forma reprezentării grafice a abaterilor E_n, determinate cu relația:

$$E_n = \frac{|V_{lab} - V_{ref}|}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \qquad (11)$$

Abaterea E_n poate fi considerată ca o măsură a echivalenței dintre rezultatele măsurării în laboratoarele participante și valorile de referință determinate la NMi-VSL. Pentru ca măsurările să fie considerate acceptabile, valoarea abaterii E_n trebuie să fie mai mică decât unitatea.

5 Concluzie

Examinând datele din tabelul 2 și reprezentările grafice din fig. 3*a* și 3*b*, se constată că rezultatele etalonării sunt practic echivalente cu valorile de referință determinate la NMi-VSL. Abaterile E_n atât pentru valoarea de 1,018 V cât și pentru 10 V sunt practic egale cu 0, dovedind calitatea măsurărilor și echivalența cu valorile de referință, fapt menționat de altfel în [3].

Incertitudinea de etalonare ($0{,}6 \times 10^{-6}$) este de asemenea foarte apropiată de aceea de la NMi-VSL ($0{,}3 \times 10^{-6}$) și mult mai mică decât la celelalte laboratoare participante (cu excepția laboratorului nr. 4) și decât valoarea considerată acceptabilă pe plan european la astfel de intercomparări, care este, conform [3], $< 5 \times 10^{-6}$.

Rezultatele acestei intercomparări au demonstrat, deci, capabilitatea laboratorului Mărimi Electrice din Institutul Național de Metrologie de a efectua etalonări de înaltă exactitate, la nivelul laboratoarelor din țările Uniunii Europene.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Liefrink, F.*, NMi Van Swinden Laboratorium, Measurement Instructions for National Institute of Metrology, Romania (25-26 March 1998), PRAQ III-WP1:Q11, Organisation of Measurement Intercomparison – Elec- trical Measurements. A project financed by the PHARE programme PRAQ III of the European Committee for Standardization (CEN)

[2] EAL-R2 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration

[3] *Liefrink, F.* Organisation of Measurement Intercomparison – Electrical Measurements. FINAL REPORT

ETALONUL NAȚIONAL AL UNITĂȚII DE MĂSURĂ A TENSIUNII ELECTRICE ÎN CURENT ALTERNATIV, U = (1...1000) V, LA f = (0,02...100) kHZ

Ioana ODOR *)

Abstract: *The paper presents the national standard of the measurement unit for a.c. electric voltage, U = (1 ... 1000) V, f = (0,02 ... 100) kHz, developed in the electric quantities laboratory of the National Institute of Metrology. The characteristics of the three groups of standards resulted from a research project of the laboratory are described as well as the method used to determine the transfer error between the standards with equal nominal voltages (1 V and 2 V). The transfer errors determined between 1991 – 1998 and the associated uncertainties are also presented.*

Résumé: *L'article présente l'étalon national de l'unité de mesure pour la tension électrique en courant alternatif, U = (1 ... 1000) V, f = (0,02 ... 100) kHz, réalisé dans le laboratoire des grandeurs électriques à l'Institut National de Métrologie. On décrie les caractéristiques des trois groupes d'étalons, réalisés à la suite d'un projet de recherche du laboratoire, et la méthode utilisée pour detérminer les erreurs de transfer entre les étalons avec tensions nominales égales (1 V et 2 V). On présente les erreurs de transfer detérminées entre 1991 – 1998 et les incertitudes associées.*

Acest etalon a fost realizat în I.N.M., prin cercetare proprie în perioada 1977–1978 [1] și apoi perfecționat și dezvoltat [2],[3],[4],[5],[7],[8],[12], [13],[14],[15] în vederea asigurării unui nivel de exactitate și stabilitate corespunzător exigențelor internaționale.

Pentru extindarea limitelor de măsurare ale etalonului național de tensiune în c.a. la valori sub 1V, a fost realizată o instalație specială care a constituit obiectul unei teme de cercetare [9].

În figurile 1 și 2 este prezentată structura sistemului de etaloane de tensiune electrică în curent alternativ, realizate în cadrul laboratorului și utilizate la transmiterea unității de tensiune către etaloanele secundare și de lucru din I.N.M. cât și din întregul sistem de etaloane din România și Republica Moldova.

Etaloanele de bază, care au participat până în prezent la comparații internaționale, sunt capetele termoelectrice de măsurare cu valori ale tensiunii nominale de 1 V și 2 V.

Principalele caracteristici tehnice ale celor trei grupuri de etaloane sunt prezentate în tabelele *A*, B și *C*.

Capetele termoelectrice de măsurare, notate CM-1, CM-U-1 și CM-2, CMU-2, sunt realizate conform brevetului de invenție [10] și conțin convertizoare termoelectrice (termocupluri în vid) cu valori ale curenților nominali ai încălzitoarelor de 2,5 mA și respectiv 5mA.

Rezistoarele adiționale coaxiale, notate Ra-1 ... Ra-10, sunt realizate conform brevetului de invenție [11] și conțin rezistoare dimensionate pentru preluarea căderilor de tensiune alternativă până la 10000 V, în cazurile când este necesară măsurarea unor tensiuni mai mari de cât cele nominale ale capetelor termoelectrice de măsurare, 1V și respectiv 2 V.

Fiecare rezistor adițional coaxial este proiectat și realizat pentru două valori ale tensiunii nominale, putând fi utilizat cu ambele tipuri de capete de măsurare, corespunzătoare curenților nominali de 2,5 mA și 5 mA.

Capetele termoelectrice de măsurare și rezistoarele adiționale coaxiale din grupurile 1 și 2 de etaloane, prezentate în tabelele A și B, sunt montate în carcase coaxiale din alamă.

*) Institutul Național de Metrologie, șos. Vitan Bârzești nr. 11, sector 4, București.

STRUCTURA SISTEMULUI DE ETALOANE DE TENSIUNE ELECTRICĂ U = 1 mV ... 1000 V, la f = 20 Hz ... 100 kHz

ETALON PENTRU TENSIUNI MICI
U = 1 mV ... 1V

- AMPLIFICATOR
  f = 20 Hz ... 100 kHz
  A = (0 ... 60) dB
- DIVIZOR NDUCTIV DE TENSIUNE
  f = 20 Hz ... 1 Hz
- DIVIZOR INDUCTIV DE TENSIUNE
  f = (1 ... 100) kHz
- CAP TERMOELECTRIC
  U = 1V
  f = 20 Hz ... 100 kHz
- INDICATOR DE NUL DE C.C.
  CIRCUIT DE COMPENSARE DE CURENT CONTINUU

Fig. 1

ETALON NAȚIONAL PENTRU TENSIUNI U = (1 ... 1000) V

- ETALON ITINERANT U = 1 V
  Tip CMU-1/s : 8401
- ETALON ITINERANT U = 2 V
  Tip CMU-2/s : 8402
- CAP TERMOEL. TIP CM-1/s:78011
  U = 1 V
- CAP TERMOEL. TIP CM-1/s:78012
  U = 1 V
- CAP TERMOEL. TIP CM-2/s:78021
  U = 2 V
- CAP TERMOEL. TIP CM-2/s:78022
  U = 2 V
- REZISTOR ADIȚIONAL COAXIAL
  Tip Ra-1/s:7801; U = (3; 6) V; R = 0,8 kΩ
- REZISTOR ADIȚIONAL COAXIAL
  Tip Ra-2/s:7802; U=(10; 20) V; R=3,6 kΩ
- REZISTOR ADIȚIONAL COAXIAL
  Tip Ra-3/s:7803; U=(30; 60) V; R=12 kΩ
- REZISTOR ADIȚIONAL COAXIAL
  Tip Ra-4/s:7804; U=(100; 200) V; R=40 kΩ
- REZISTOR ADIȚIONAL COAXIAL
  Tip Ra-5/s:7805; U=(300; 600) V; R=120 kΩ
- REZISTOR ADIȚIONAL COAXIAL
  Tip Ra-6/s:7806; U=(500; 1000) V; R=200 kΩ
- REZISTOARE ADIȚIONALE COAXIALE
  Tip Ra-7/s:7807 și 7808; R = 200 kΩ;
  U = (500; 1000) V (2 bucăți)
- REZISTOARE ADIȚIONALE COAXIALE
  Tip Ra-8/s:7809 și 7810; R = 400 kΩ;
  U = 1000 V (2 bucăți)
- REZISTOR ADIȚIONAL COAXIAL
  Tip Ra-9/s:7811; R = 400Ω;
  U = 1000 V
- REZISTOR ADIȚIONAL COAXIAL
  Tip Ra-10/s:7812; R = 200 kΩ;
  U = (500; 1000) V

Fig. 2

GRUP DE ETALOANE DE BAZĂ Tabelul *A*

Nr. crt.	Tip	U_n		I_n		R_n	R_t	Seria nr.:
		CM-1	CM-2	CM-1	CM-2			
–	–	V	V	mA	mA	kΩ	kΩ	–
1	CM-1	1	–	2,5	–	0,4	0,4	78011
2	CM-1	1	–	2,5	–	0,4	0,4	78012
3	CMU-1	1	–	2,5		0,4	0,4	8401
4	CM-2	–	2	–	5	0,1	0,4	78021
5	CM-2	–	2	–	5	0,1	0,4	78022
6	CMU-2	–	2	–	5	0,1	0,4	8402
7	Ra1	3	6	2,5	5	0,8	1,2	7801
8	Ra2	10	20	2,5	5	3,6	4	7802
9	Ra3	30	60	2,5	5	12	12,4	7803
10	Ra4	100	200	2,5	5	40	40,4	7804
11	Ra5	300	600	2,5	5	120	120,4	7805
12	Ra6	500	1000	2,5	5	200	200,4	7806

GRUP SUPLIMENTAR DE REZISTOARE COAXIALE Tabelul *B*

Nr. crt.	Tip	U_n		I_n		R_n	R_t	Seria nr.:
		CM-1	CM-2	CM-1	CM-2			
–	–	V	V	mA	mA	kΩ	kΩ	–
1	Ra7	500	1000	2,5	5	200	200,4	7807
2	Ra7	500	1000	2,5	5	200	200,4	7808
3	Ra8	1000	–	2,5	–	400	400,4	7809
4	Ra8	1000	–	2,5	–	400	400,4	7810
5	Ra9	1000	–	2,5	–	400	400,4	7811
6	Ra10	500	1000	2,5	5	200	200,4	7812

GRUP ITINERANT DE ETALOANE Tabelul *C*

Nr. crt.	Tip	U_n		I_n		R_n	R_t	Seria nr.:
		CM-1	CM-2	CM-1	CM-2			
–	–	V	V	mA	mA	kΩ	kΩ	–
1	CMU-1	1	–	2,5	–	0,4	0,4	8401
2	CMU-2	–	2	–	5	0,1	0,4	8402
3	Ra1	3	6	2,5	5	0,8	1,2	8401
4	Ra2	10	20	2,5	5	3,6	4	8402
5	Ra3	30	60	2,5	5	12	12,4	8403
6	Ra4	100	200	2,5	5	40	40,4	8404
7	Ra5	300	600	2,5	5	120	120,4	8405

Capetele termelectrice de măsurare și rezistoarele adiționale coaxiale din grupul 3, numit grup itinerant de etaloane, sunt montate în carcase coaxiale de aluminiu, pentru a putea fi mai ușor de transportat la intercomparații internaționale.

Etalonul național de tensiune electrică în c.a. mai conține instalații anexe prezentate pe larg în lucrările [1],[2],[3] și [4].

Având în vedere faptul că până în prezent numai capatele termoelectrice, CMU-1 și CMU-2, au participat la intercomparări internționale

(OMH-Ungaria/1984; ASMW-RDG/1987; INMB și VNIIM-URSS/1990 și PTB-Germania/1995), în cadrul Laboratorului Mărimi Electrice se efectuează studii periodice pentru caracterizarea metrologică a tuturor capetelor termoelectrice de măsurare care alcătuiesc cele trei grupuri de etaloane. Scopul acestor studii este determinarea erorilor de transfer dintre etaloanele cu tensiuni nominale U =1 V și U = 2 V, reprezentate prin capetele termoelectrice de măsurare notate CM-1/s:78011, CM-1/s:78012, CMU-1/s:8401, CM-2/s:78021, CM-2/s:78022 și CMU-2/s:8402.

Pentru ultimele studii [13] și [14] laboratorul a dispus de certificatul de etalonare [15] eliberat de PTB la data de 15.12.1995, cu ocazia intercomparării de etaloane între INM și PTB. În acest certificat de etalonare sunt indicate erorile de transfer ale etaloanelor itinerante ale INM, CMU-1/s:8401 cu U_n = 1 V, respectiv CMU-2/s:8402 cu U_n = 2 V, pentru intervalul de frecvențe f = 20 Hz ...1 Mhz. Erorile de transfer dintre etaloanele laboratorului, câte trei capete termoelectrice pentru fiecare tensiune nominală U =1 V și U = 2 V, se raportează la cele din certificatul PTB.

Pentru efectuarea măsurărilor se folosește o metodă de comparație directă, prezentată principial în figura 3.

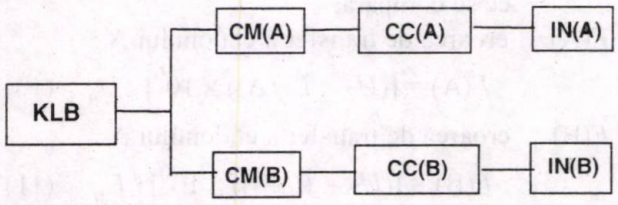


Fig. 3

unde s-a notat cu:

KLB calibrator de tensiune continuă și alternativă (*), U = 2,2 mV...1100 V, tip 5720 A, cu amplificator tip 5725 A, fabricație J.Fluke/ SUA, [16], prevăzute fiecare cu interfață standard tip IEEE-488 ;

CM capete termoelectrice de măsurare;

CC circuite de compensare portabile, U_C = (10;20;50) mV;

IN indicatoare de nul de c.c., cu sensibilitate de 10 μV;

Procedeul de comparare a două etaloane se desfășuară după cum urmează :

a) se aplică celor două etaloane, CM(A) și CM(B), simultan tensiunea alternativă U_n = 1 V sau 2 V, având frecvența cuprinsă în intervalul f = 20 Hz ... 100 kHz, furnizată de către calibratorul de tensiune 5720 A;

b) se echilibrează cele două circuite de compensare CC(A), respectiv CC(B), pentru tensiunea de ieșire corespunzătoare fiecărui etalon, cu ajutorul celor două indicatoare de nul IN(A), respectiv IN(B);

c) se alimentează cele două etaloane cu tensiune continuă U_d, aplicată în sens direct, furnizată de către același calibrator 5720 A, dar comutat pe tensiune continuă;

d) se notează valorile tensiunilor U_d (A), respectiv U_d (B) de la bornele calibratorului de tensiune continuă, care au adus în stare de echilibru circuitele de compensare CC(A) și CC(B), constatată cu ajutorul celor două indicatoare de nul IN(A) și IN(B), care controlează ieșirile etalonului (A) și a etalonului (B);

e) se alimentează cele două etaloane cu tensiune continuă U_i, aplicată în sens invers, furnizată de către același calibrator 5720 A;

f) se notează valorile tensiunilor U_i (A), respectiv U_i (B) de la bornele calibratorului de tensiune continuă, care au adus în stare de echilibru circuitele de compensare CC(A) și CC(B), constatată cu ajutorul celor două indicatoare de nul IN(A) și IN (B), care controlează ieșirile etalonului (A) și al etalonului (B);

Pentru etaloanele având tensiunea nominală U_n = 1 V, se compară etalonul itinerant, tip CMU-1/s : 8401, cu fiecare dintre etaloanele CM-1/s : 78011 și CM-1/s : 78012. După această operație se compară etaloanele CM-1/s : 78011 și CM-1/s : 78012 între ele.

Analog se procedează și pentru etaloanele CMU-2/s : 8402, CM-2/s : 78021 și CM-2/s : 78022, având tensiunea nominală de intrare U_n = 2 V.

Pentru fiecare pereche de etaloane comparate au fost efectuate câte N = 10 măsurări la fiecare valoare de frecvență f = (0,02; 1; 50; 100) kHz.

Au fost efectuate trei cicluri de măsurări pentru fiecare pereche de etaloane care se compară, rezultatele fiind prezentate în [15].

(*) Calibratorul FLUKE (5720A + 5725A) a fost obținut de la PTB, în anul 1996, ca urmare a unui „Program de îmbunătățire a Metrologiei din România", finanțat de guvernul federal al Germaniei.

Diferențele erorilor de transfer dintre două etaloane termoelectrice, pentru o măsurare individuală, se calculează cu următoarea relație:

$$E_i = 10^6 \times \frac{[U_d(A) + U_i(A) - U_d(B) - U_i(B)]}{U_d(B) + U_i(B)} \quad (1)$$

Eroarea medie pentru $N = 10$ măsurări, ale unui ciclu j de măsurări, se calculează cu relația:

$$E_{Mj} = \frac{\sum_{i=1}^{i=10} E_i}{N} \qquad (j = 1 \ldots 3) \quad (2)$$

Abaterea standard experimentală a unei măsurări individuale, ale unui ciclu de măsurări se calculează cu relația:

$$S_j = \frac{\sum_{i=1}^{i=10} (E_i - E_{Mj})^2}{N-1} \qquad (j=1 \ldots 3) \quad (3)$$

Abaterea standard experimentlă a mediei E_{Mj}, pentru un ciclu de măsuri se calculează cu relația:

$$S_{0j} = \frac{S_j}{\sqrt{N}} \qquad (j=1 \ldots 3) \quad (4)$$

Media erorii de transfer a celor trei cicluri de măsurări:

$$E_M = \sum_{i=1}^{i=3} \frac{E_{Mij}}{3} \quad (5)$$

Abaterea standard experimentală a unui ciclu de măsurări:

$$S = \frac{\sum_{j=1}^{j=3} (E_{Mj} - E_M)^2}{2} \quad (6)$$

Abaterea standard experimentală a mediei celor trei cicluri:

$$S_0 = \frac{S}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

Evaluarea incertitudinilor standard combinate u_c, precum și ale incertitudinilor extinse U, la compararea dintre două etaloane A și B, a fost efectuată pentru etaloanele având $U_n = 1$ V, tip CM-1/s:78011și CMU-1/s:8401, precum și pentru etaloanele având tensiunea $U_n = 2$ V, tip CM-2/s: 78021 și CMU-2/s:8402.

În acest scop se notează prin :

A etalonul de măsurat;

B etalonul de referință;

$U\sim$ valoarea eficace a tensiunii alternative aplicată simultan ambelor etaloane A și B;

U_d(A) tensiunea continuă aplicată în sens direct etalonului A, echivalentă tensiunii alternative $U\sim$;

U_i(A) tensiunea continuă aplicată în sens invers etalonului A, echivalentă tensiunii alternative $U\sim$;

U_d(B) tensiunea continuă aplicată în sens direct etalonului B, echivalentă tensiunii alternative $U\sim$;

U_i(B) tensiunea continuă aplicată în sens invers etalonului B, echivalentă tensiunii alternative $U\sim$;

U_0(A) media aritmetică a valorilor tensiunilor U_d(A) și U_i(A);

$$U_0(A) = 0{,}5 \times [U_d(A) + U_i(A)] \quad (8)$$

U_0(B) media aritmetică a valorilor tensiunilor U_d(B) și U_i(B);

$$U_0(B) = 0{,}5 \times [U_d(B) + U_i(B)] \quad (9)$$

U_n tensiunea nominală acelor două etaloane ce se compară;

E(A) eroarea de transfer a etalonului A :

$$E(A) = [(U\sim - U_0(A)) \times 10^6] / U_n \quad (10)$$

E(B) eroarea de transfer a etalonului A :

$$E(B) = [(U\sim - U_0(B)) \times 10^6] / U_n \quad (11)$$

E(B,A) diferența erorilor de transfer dintre cele două etaloane A și B;

$$E(B,A) = [(U_0(A) - U_0(B)) \times 10^6] / U_n = E(B) - E(A) \quad (12)$$

Din ultima relație rezultă că eroarea de transfer a etalonului B, E(B), se poate calcula în funcție de eroarea de transfer a etalonului A, E(A) și de diferența erorilor de transfer E(B,A) dintre cele două etaloane A și B.

$$E(B) = E(A) + E(B,A) \text{ sau}$$

$$E(A) = E(B) - E(B,A) \quad (13)$$

În relația (13), diferența erorilor de transfer E(B,A) dintre cele două etaloane A și B, este reprezentată de valoarea medie a celor trei cicluri de măsurare, exprimată prin relația (5).

$$E(\mathrm{B,A}) = E_M$$

Având în vedere că au fost studiate două sisteme de etaloane, unul pentru tensiunea U_n=1 V conținând etaloanele CM-1/s:78011, CM-1/s:78012, CMU-1/s:8401, și altul pentru tensiunea U_n=2 V conținând etaloanele CM-2/s:78021, CM-2/s:78022, CMU-2/s:8402, în [15] au fost evalute incertitudinile combinate și extinse, minimă și maximă, pentru fiecare sistem în parte.

La calculul incertitudinilor standard combinate și extinse sunt luate în considerație următoarele componente:

δU(B) incertitudinea extinsă estimată la compararea etalonului PTB cu etalonul CMU-1/s:8401 sau CMU-2/s:8402 ($U = 10 \times 10^{-6}$, $K = 2$, $P = 95$ %);

δU(IN) incertitudinea standard de tip B datorată instabilității indicatorului de nul folosit la compararea a două etaloane A și B, considerând o distribuție rectangulară a eroarii sistematice, reprezentată prin limitele ei $\pm a$ ($a = 10 \times 10^{-6}$), a cărei incertitudine este $a / \sqrt{3}$;

δU(CC) incertitudinea standard de tip B datorată instabilității circuitului de compensare CC, la compararea a două etaloane A și B, considerând o distribuție rectangulară a eroarii sistematice, reprezentată prin limitele ei $\pm a$ ($a = 10 \times 10^{-6}$), a cărei incertitudine este $a / \sqrt{3}$;

$\delta U[U_d(\mathrm{A})]$ incertitudinea standard la măsurarea tensiunii continue aplicată în sens direct etalonului A cu calibratorul tip 5720A/JohnFluke/SUA, dedusă din valoarea incertitudinii extinse U, pentru $K = 3$, $P = \pm 99$ %, afișată pe ecranul acestuia, la acționarea tastei **„SPEC"** [16];

$U = 6 \times 10^{-6}$ pentru $U_n = 1$V,
respectiv $U = 7 \times 10^{-6}$ pentru $U_n = 2$V;

$\delta U[U_i(\mathrm{A})]$ incertitudinea standard la măsurarea tensiunii continue aplicată în sens invers etalonului A, cu calibratorul tip 5720A/JohnFluke/SUA, dedusă din valoarea incertitudinii extinse U, pentru $K = 3$, $P = \pm 99$ %, afișată pe ecranul acestuia, la acționarea tastei **„SPEC"** [16];

$U = 6 \times 10^{-6}$ pentru $U_n = 1$V,
respectiv $U = 7 \times 10^{-6}$ pentru $U_n = 2$V;

$\delta U[U_d(\mathrm{B})]$ incertitudinea standard la măsurarea tensiunii continue aplicată în sens direct etalonului B, cu calibratorul tip 5720A/JohnFluke/SUA, dedusă din valoarea incertitudinii extinse U, pentru $K = 3$, $P = \pm 99$ %, afișată pe ecranul acestuia, la acționarea tastei **„SPEC"** [16];

$U = 6 \times 10^{-6}$ pentru $U_n = 1$V,
respectiv $U = 7 \times 10^{-6}$ pentru $U_n = 2$V;

$\delta U[U_i(\mathrm{B})]$ incertitudinea standard la măsurarea tensiunii continue aplicată în sens invers etalonului B, cu calibratorul tip 5720A/JohnFluke/SUA, dedusă din valoarea incertitudinii extinse U, pentru $K = 3$, $P = \pm 99$ %, afișată pe ecranul acestuia, la acționarea tastei **„SPEC"** [16];

$U = 6 \times 10^{-6}$ pentru $U_n = 1$V,
respectiv $U = 7 \times 10^{-6}$ pentru $U_n = 2$V;

$\delta[U(\mathrm{A})-U(\mathrm{B})]$ incertitudinea standard de tip A, la compararea celor două etaloane A și B, la o anumită frecvență din intervalul f = 20 Hz ... 100 kHz, calculată ca abatere standard experimentală a mediei, pentru $N = 10$ măsurări.

Prelucrarea datelor experimentale a fost efectuată pe calculatorul MBL-AT286/16 MHz, din dotarea colectivului CA-MR, folosindu-se programele elaborate în cadrul unei lucrări de cercetare [7].

În urma prelucrării datelor obținute în cadrul lucrărilor de caracterizare metrologică a capetelor termoelectrice de măsurare a tensiunii la f = (0,02 ... 100) kHz au fost determinate rezultatele prezentate în tabelul *D*.

Valoarea admisă pentru incertitudinea compusă, conform [6], este de 20×10^{-6}.

Diferențele dintre erorile de transfer obținute în ultimii ani indică necesitatea efectuării unei noi etalonări a capetelor de măsurare din grupul itinerant de etaloan, la PTB, sau la alt laborator național de metrologie.

Etaloanele termoelectrice având tensiunile nominale $U_n = 1$ V și $U_n = 2$ V se utilizează la măsurarea cu înaltă exactitate a valorilor eficace ale tensiunii alternative U~.

În cazul în care se utilizează pentru măsurarea unei tensiuni alternative, ca etalon, capul termoelectric CMU-1 pentru $U_n = 1$ V, respectiv capul termoelectric CMU-2 pentru $U_n = 2$ V, se poate folosi eroarea de transfer, valoarea tensiunii alternative U~ de măsurat rezultând în funcție de :

U_0 valoarea tensiunii continue echivalente aplicată capului termoelectric;

E_{transfer} eroarea de transfer a etalonului termoelectric utilizat;

U incertitudinea extinsă.

Tabelul *D*

Anul	Limite ale diferențelor erorilor de transfer dintre etaloanele naționale pentru		Incertitudine compusă la comparația dintre etaloanele naționale pentru	
	$U_n = 1$ V	$U_n = 2$ V	$U_n = 1$ V	$U_n = 2$ V
1998	$-14\times10^{-6} \le E(A,B) \le 47\times10^{-6}$	$-13\times10^{-6} \le E(A,B) \le 13\times10^{-6}$	$10\times10^{-6} \le u_c \le 12\times10^{-6}$	$11\times10^{-6} \le u_c \le 13\times10^{-6}$
1996	$-4\times10^{-6} \le E(A,B) \le 76\times10^{-6}$	$-37\times10^{-6} \le E(A,B) \le -2\times10^{-6}$	$9\times10^{-6} \le u_c \le 12\times10^{-6}$	$9\times10^{-6} \le u_c \le 11\times10^{-6}$
1995	$-6\times10^{-6} \le E(A,B) \le 34\times10^{-6}$	$-18\times10^{-6} \le E(A,B) \le -6\times10^{-6}$	$8\times10^{-6} \le u_c \le 9\times10^{-6}$	$u_c \le 9\times10^{-6}$
1993	$2\times10^{-6} \le E(A,B) \le 66\times10^{-6}$	$-2\times10^{-6} \le E(A,B) \le 12\times10^{-6}$	$5\times10^{-6} \le u_c \le 9\times10^{-6}$	$5\times10^{-6} \le u_c \le 9\times10^{-6}$
1991	$-11\times10^{-6} \le E(A,B) \le 60\times10^{-6}$	$-29\times10^{-6} \le E(A,B) \le 30\times10^{-6}$	$4\times10^{-6} \le u_c \le 11\times10^{-6}$	$4\times10^{-6} \le u_c \le 11\times10^{-6}$

Relația de calcul este următoarea :

$$U\sim = U_0\,[1 + E_{\text{transfer}} \pm U] \qquad (14)$$

Dacă pentru măsurarea tensiunii alternative $U\sim$ se folosește unul dintre capetele termoelectrice CM-1 pentru tensiunea $U_n = 1$ V, respectiv CM-2 pentru tensiunea $U_n = 2$ V, trebuie luate în considerare erorile de transfer dintre etaloane, conform relației (13) și incertitudinile extinse corespunzătoare.

Valoarea tensiunii continue U_0 rezultă în funcție de valorile tensiunilor continue în sens direct și în sens invers, conform relațiilor (8) și (9).

Capetele termoelectrice de măsurare sunt utilizate pentru transmiterea directă a unității de măsură a tensiunii electrice în curent alternativ, U =1 mV...1000 V și f = 20 Hz...100 kHz, la capetele termoelectrice de măsurare ale Republicii Moldova, la calibratoarele de tensiune și curent alternativ (FLUKE 5720A + 5725A; FLUKE 5500; BI-9 + 22), la voltmetre digitale (H&P 3458A), la etaloanele de măsurare a intensității curentului alternativ, I =1 mA ... 100 A, la f = 20 Hz ... 20 kHz, și la etolonul de putere și energie electrică la f = 50 Hz din dotarea laboratorului.

BIBLIOGRAFIE

[1] *R. Soviani, M.Rizea, I.Gliga*, „Studiu. A-218. Realizarea etaloanelor naționale de tensiune în c.c. (INMB.1977-1978)".

[2] *R. Soviani, M. Rizea, I.Gliga*, „Studiu. BR-406. Creșterea preciziei etalonului național de tensiune în curent alternativ. (INMB-1986/1987)".

[3] *R. Soviani*, „Documentația etalonului național de tensiune în c.a., U = (1 ... 1000) V, f = (0,02 ... 100) kHz".

[4] *R. Soviani, M. Rizea, I.Gliga*, „Studiu. AR-316. Realizarea etaloanelor naționale de curent alternativ. (INMB.1979-1980".

[5] *R. Soviani, M. Rizea, I.Gliga*, „Studiu. BR-226. Creșterea preciziei etaloanelor naționale de curent alternativ. (INMB.1988-1989)".

[6] *R. Soviani*, "Documentația etalonului național de curent alternativ, I = 1 mA ... 100 A, f = (0,02 ... 20) KHz".

[7] *R. Soviani, M. Rizea, I.Gliga*, „Studiu. BR-226. Compararea și comportarea capetelor termoelectrice ale etaloanelor naționale de tensiune de curent alternativ, în intervalul U = (1 ... 2) V, I = (1 ... 20) mA, f = 15 Hz ... 100 kHz. (INMB.1991-1992)".

[8] *R. Soviani, M. Rizea, I.Gliga*, „Studiu B-409. Comportarea și caracterizarea metrologică a etaloanelor naționale de tensiune electrică U = 1 V și U = 2 V, f = 20 Hz ...100 kHz. (INMB-1993)".

[9] *R. Soviani, M. Rizea, I.Gliga*, „Studiu A-9. Realizarea etaloanelor de curenți mici și tensiuni mici. (Extinderea limitelor de măsurare ale etaloanelor naționale de curent și tensiune ale INM, la valori mici I = 10 A ...1 mA, respectiv U = 1 mV ... 1 V, pentru f = 20 Hz ... 100 kHz . (INMB. 1992-1994)".

[10] *R. Soviani*, „Brevet România nr.: 93670/1970 – Cap termoelectric de măsurare".

[11] *R. Soviani*, „Brevet România nr.: 80127/1981 – Rezistor coaxial".

[12] *R. Soviani, M. Rizea*, „Studiu A-3. Caracterizarea metrologică a etalonului național de tensiune alternativă U =1 V și U = 2 V, la f = 20 Hz ... 100 kHz. (INMB-1995)".

[13] *R. Soviani, M. Rizea*, „Studiu A-4. Atribuirea valorilor etaloanelor naționale de tensiune alternativă U = 1 V și U = 2 V, f = 20 Hz – 100 kHz. (INMB-1996)".

[14] *R. Soviani, M. Rizea*, „Studiu A-4. Caracterizarea metrologică a etaloanelor naționale de tensiune alternativă U =1 V și U = 2 V, la f = 20 Hz ...100 kHz. (INMB-1998)".

[15] P.T.B-1995, „Kalibrieschein – 2.43-95. Wechselspannungs-Gleichspannungs-Konverter. Kalibrierchen 3517 PTB 95/ 3518 PTB 95. Physikalisch-Technische-Bundesanstaslt, 15 Dezember 1995" .

[16] FLUKE 5720, „Operators Manual. Fluke Corporation, 1995".

INSTALAȚIE ETALON PENTRU MĂSURAREA TENSIUNILOR MICI ÎN CURENT ALTERNATIV

Radu SOVIANY *)
Mihai RIZEA *)
Ion GLIGA *)

Abstract: *The paper presents a high accuracy system, for small r.m.s. voltage measurements 1 mV ≤ U ≤ 1 V, in the frequency range f = (0,02 ... 100) kHz. The system is based on the amplification of the volages to be measured, up to the 1 V value, wich is measured using a DC voltage standard.*

Résumé: *L'article présente un système de mesure à haute exactitude des tensions alternatives, de petites valeurs eficaces 1 mV ≤ U ≤ 1 V, pour l'intervalle de fréquénces f = (0,02 ... 100) kHz. Le système utilise le principe de l'amplification des tensions électriques a mesurer, jousqu'à la valeur de 1 V, celle-ci etant puis mesurée, a l'aide d'un comparateur thermoélectrique, par référence à un étalon de tension continue.*

1 Introducere

Realizarea instalației pentru măsurarea tensiunilor alternative de valori eficace mici [3], a rezultat din necesitatea de a putea etalona și verifica, în cadrul INM, calibratoare și voltmetre digitale de tensiune alternativă, pe intervalele de tensiuni mici, $U < 1$ V.

Până la realizarea acestei instalații INM dispunea de etaloane termoelectrice, realizate prin cercetare proprie [1,2], care permiteau verificarea și etalonarea atât a calibratoarelor de tensiune alternativă, cât și a voltmetrelor digitale, dar numai în intervalul 1 V ≤ U ≤ 1000 V, la frecvențe f = (0,02 ... 100) kHz.

Performanțele acestor etaloane sunt prezentate în tabel.

Aceste etaloane de referință, atestate ca etaloane naționale în urma unor comparații internaționale [4,5], sunt constituite în principiu din capete termoelectrice de 1 V și 2 V, considerate ca etaloane de bază, asociate cu rezistoare adiționale coaxiale, care permit extinderea limitelor de măsurare ale acestora, până la U_{max} = 1000 V.

Cum cel mai performant etalon termoelectric al grupului de etaloane naționale de tensiune alternativă este etalonul având tensiunea nominală U_n = 1 V, ideea de bază a fost aceea de a realiza o instalație care să permită măsurarea tensiunilor alternative având valori eficace $U < 1$ V, prin referire la acest etalon.

Tensiunea V	Frecvența kHz	Erori de transfer $\times 10^{-6}$	Incertitudini de măsurare $\times 10^{-6}$
1	0,02	– 3	10
1	100	40	10
2	0,02	6	10
2	100	34	10
3 ... 1000	0,02 ... 100	50 ... 500	10 ... 50

*) Institutul Național de Metrologie, șos. Vitan Bârzești nr. 11, sector 4, București.

2 Principiul de funcţionare

Tensiunile continue de valori mici se pot măsura cu înaltă exactitate prin utilizarea compensatoarelor de curent continuu, având ca referinţă un etalon de tensiune continuă, reprezentat printr-un element normal sau un etalon electronic. Utilizarea acestui procedeu şi pentru măsurarea tensiunilor alternative, nu permite obţinerea unor performanţe înalte.

În ceea ce priveşte etaloanele de tensiune alternativă, acestea sunt disponibile pe piaţă numai pentru tensiunea $U = 10$ V, garantată cu o incertitudine de 0,02 %, pentru o singura frecvenţă din intervalul $f = (0{,}02 \ldots 100)$ kHz.

Compensatoare de tensiune alternativă, având performanţe înalte, nu sunt disponibile pe piaţă, cele existente limitându-se la clase de exactitate 0,2 şi 0,1, pentru intervalul de frecvenţe $45 \le f \le 65$ Hz, ceea ce evident este nesatisfăcător. Pentru frecvenţe mai mari de 400 Hz nu se construiesc, în general, compensatoare de tensiune alternativă.

Incertitudinile extinse de măsurare ale unei instalaţii destinate măsurării tensiunilor alternative de valori eficace mici, ar trebui să fie cuprinse în intervalul (0,01 ... 0,1) %, pentru $f = (0.02 \ldots 100)$ kHz. Aceasta pentru motivul că incertitudinile extinse de măsurare, pentru un nivel de încredere de 99 %, ale celor mai răspândite calibratoare de tensiune alternativă, în intervalul de frecvenţe $f = (0{,}02 \ldots 100)$ kHz, sunt :

– pentru calibratorul tip 745 A (HP/SUA) şi tip BI-9 (URSS):]

$U = 1$ mV ; $1 \le U_e \le 5{,}2$ (%) ;
$U = 10$ mV ; $0{,}12 \le U_e \le 0{,}7$ (%) ;
$U = 100$ mV ; $0{,}03 \le U_e \le 0{,}26$ (%) .

– pentru calibratorul tip 5720A (J. Fluke/SUA):

$U = 2{,}2$ mV ; $0{,}24 \le U_e \le 0{,}33$ (%) ;
$U = 22$ mV ; $0{,}033 \le U_e \le 0{,}087$ (%) ;
$U = 220$ mV ; $0{,}014 \le U_e \le 0{,}069$ (%) .

Având în vedere aceste considerente a fost adoptată, pentru realizarea instalaţiei de măsurare a tensiunilor mici $U_x < 1$ V, o soluţie [6] bazată pe amplificarea acestora, până la o valoare $U \cong 1$ V.

În acest scop, la intrarea amplificatorului se aplică tensiunea U_{ix} de măsurat, obţinându-se la ieşire tensiunea U_{ex}, amplificată. Această tensiune amplificată de la ieşire se măsoară cu un comparator c.a.–c.c. termoelectric, prin referire la o tensiune continuă U_o.

Valoarea tensiunii U_{ix}, aplicată la intrare, rezultă din relaţiile :

$$a)\ U_{ex} = A_u \times U_{ix} ;$$
$$b)\ U_{ex} = U_o ; \qquad (1)$$
$$c)\ U_{ix} = U_o / A_u$$

În relaţiile (1) a fost notată cu A_u, amplificarea.

Este avantajos ca pentru tensiunea continuă U_o să se folosească un calibrator de tensiune continuă. În lipsa acestuia se poate folosi o sursă reglabilă de tensiune continuă asociată cu un voltmetru digital de tensiune continuă, de precizie corespunzătoare.

Dacă se dispune de un amplificator cu amplificare reglabilă între $1 \le A_u \le 1000$ ($0 \le A_u \le 60$) dB, în intervalul de frecvenţe $0{,}02 \le f \le 100$ kHz, valoarea acesteia putând sa fie citită pe decadele respective cu înaltă exactitate, problema este rezolvată elegant şi simplu.

Din păcate, un astfel de amplificator, la care se impun şi condiţii severe în ceea ce priveşte stabilitatea şi reglajul amplificării, într-o bandă de frecvenţe destul de mare, nu este disponibil pe piaţă.

În consecinţă, pentru realizarea instalaţiei de măsurare a tensiunilor mici, a fost adoptată o soluţie de compromis. A fost proiectat şi construit un amplificator pentru întreaga bandă de frecvenţe $0{,}02 \le f \le 100$ kHz, având o amplificare foarte stabilă şi reglabilă continuu, valoarea acesteia putând să fie citită cu o exactitate de 2 % pe decadele acestuia.

Având în vedere că exactitatea de măsurare a tensiunii mici U_{ix} depinde conform relaţiilor (1) de amplificarea A_u, valoarea exactă a acesteia se stabileşte cu ajutorul unui divizor inductiv de tensiune.

Schema bloc a instalaţiei realizate, este prezentată în fig.1, în care au fost notate cu:

CU_x calibratorul de tensiune alternativă de verificat;
CU_o calibratorul de tensiune continuă etalon;
A : amplificatorul de tensiune alternativă;
DIU divizorul inductiv de tensiune cu trei decade;
KTU comparatorul c.a.-c.c. termoelectric de tensiune;
CTU capul termoelectric de tensiune $U_n = 1$ V;
CC_o circuitul de compensare de curent continuu;

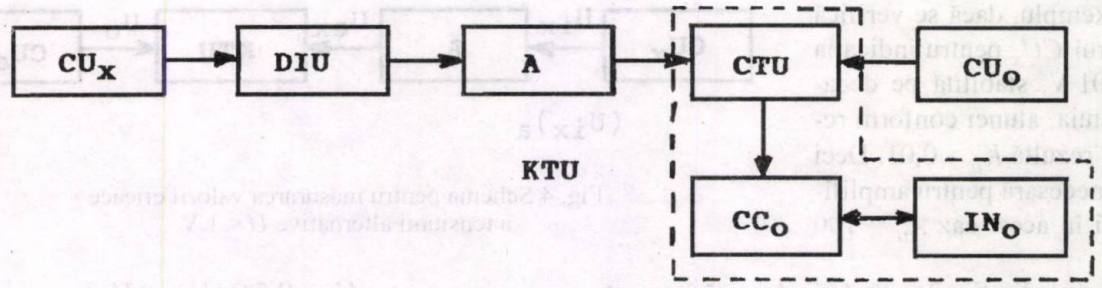


Fig. 1 Schema bloc a instalației

IN_0 indicatorul de nul de curent continuu.

Măsurarea valorii eficace a unei tensiuni mici, generată de către un calibrator CU_x de tensiune alternativă, cu instalația realizată, se face în trei etape.

În prealabil se calculează cu relația (1*a*) valoarea aproximtivă pentru amplificarea A_u, necesară pentru a amplifica tensiunea U_{ix} indicată pe decadele calibratorului de verificat CU_x, la o valoare $U = U_{ex}$ la ieșirea din amplificatorul A, cât mai apropiată de $U = 1$ V.

În prima etapă se realizează schema din fig. 2, în care calibratorul de tensiune CU_x de verificat, este selectat pentru a da la ieșire tensiunea $U \cong 1$V, reprezentând limita superioară a intervalului (0 ... 1) V. Cu această tensiune este alimentat comparatorul *KTU*, a cărui tensiune termoelectromotoare de ieșire (t.t.e.m.), este echilibrată cu ajutorul circuitului de compensare CC_0 și a indicatorului de nul IN_0.

În etapa a doua se realizează schema din fig. 3, care permite calibrarea amplificării A_u a amplificatorului A, folosind în acest scop un divizor inductiv de tensiune etalon *DIU* cu trei decade,

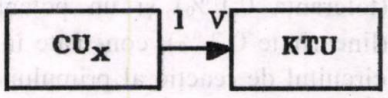


Fig. 2 Schema pentru echilibrarea comparatorului termoelectric la tensiunea aplicată la intrare $U = 1$ V

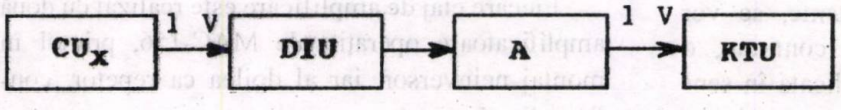


Fig. 3 Schema pentru calibrarea amplificării pe valoarea necesară

care poate realiza rapoartele de tensiuni din intervalul $K_u = 0$ ... 0,999, cu o rezoluție de 10^{-3}.

În acest scop se calculează valoarea aproximativă a raportului divizorului inductiv *DIU*, cu relația :

$$K_u = 1 / A_u \qquad (2)$$

în care A_u este exprimată prin (1*a*).

Se rotunjește această valoare pentru K_u, luându-se în considerație numai primele trei cifre după virgulă.

Se fixează pe decadele divizorului inductiv de tensiune *DIU* valoarea rotunjită a raportului K_u, exprimată prin relația (2).

Aceeași tensiune de ieșire $U = 1$ V din calibratorul CU_x, corespunzătoare primei etape, se aplică la intrarea divizorului inductiv *DIU*. La ieșirea divizorului inductiv se conectează intrarea amplificatorului A, iar la ieșirea acestuia se conectează intrarea comparatorului *KTU*, aflat în aceeași stare de echilibru ca în prima etapă.

Dacă în acesată situație se reglează amplificarea A_u până când comparatorul *KTU* ajunge în aceeași stare de echilibru, se poate scrie relația:

$$K_u \times A_u = 1 \qquad (3)$$

În aceste condiții, relația (3) arată ca amplificarea A_u este numeric egală cu inversul raportului de divizare K_u:

$$A_u = 1/K_u \qquad (4)$$

Este avantajos ca valoarea K_u a raportului de divizare să se aleagă inițial egală numeric cu valoarea tensiunii U_{ix} indicată pe decadele calibratorului CU_x de verificat, exprimată în volți, care trebuie amplificată până la valoarea $U \cong 1$ V, conform relației (5), deși aceasta nu este restrictiv.

$$K_u = U_{ix} \qquad (5)$$

De exemplu, dacă se verifică calibratorul CU_x pentru indicația U_{ix} = 0,01 V, stabilită pe decadele acestuia, atunci conform relației (5), rezultă K_u = 0,01. Deci valoarea necesară pentru amplificare va fi în acest caz A_u = 100 (40 dB).

În schema din fig. 3 va trebui adoptată în acest caz K_u = 0,01, rezultând pentru reglajul amplificării valoarea A_u = 100 (40 dB).

Etapa a treia permite măsurarea valorii adevărate $(U_{ix})_a$ a tensiunii alternative indicată U_{ix} pe decadele calibratorului CU_x, de verificat. În acest scop se realizează schema din fig. 4, în care se fixează pe decadele calibratorului, valoarea U_{ix} ce trebuie măsurată.

Această tensiune este amplificată, la ieșirea amplificatorului obținându-se o tensiune alternativă:

$$(U_{ex})_a = A_u \times (U_{ix})_a \qquad (6)$$

Valoarea adevărată $(U_{ex})_a$ a tensiunii alternative exprimată prin (6), este măsurată cu înaltă exactitate cu comparatorul termoelectric *KTU*, fiind egală cu tensiunea continuă U_o, de echilibrare a acestuia în curent continuu, citită pe decadele calibratorului de tensiune continuă CU_o.

$$(U_{ex})_a = U_o \qquad (7)$$

Din (6) și (7) rezultă :

$$(U_{ix})_a = U_o / A_u \qquad (8)$$

Eroarea de indicație a calibratorului de verificat, pentru indicația U_{ix} va rezulta din:

$$E_x = \frac{U_{ix} - (U_{ix})_a}{(U_{ix})_a} \times 100 \ (\%) \qquad (9)$$

Dacă valoarea indicată U_{ix} pe decadele calibratorului CU_x satisface relația (5), se obține pentru eroarea de indicație E_x, următoarea relație simplă:

$$E_x = \frac{1 - U_o}{U_o} \times 100 \ (\%) \qquad (10)$$

În situația în care comparatorul termoelectric prezintă erori de polaritate importante, se vor efectua două echilibrări în curent continuu, o echilibrare cu tensiunea continuă aplicată în sens direct U_{od} și o a doua echilibrare cu tensiunea continuă aplicată în sens invers U_i. Se va adopta pentru tensiunea continuă U_o, valoarea dată de:

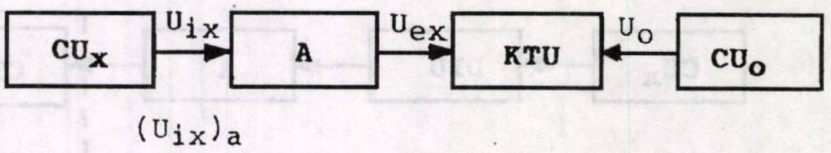


Fig. 4 Schema pentru măsurarea valorii eficace a tensiunii alternative $U < 1$ V

$$U_o = 0{,}5 \times [U_{od} + U_{oi}] \qquad (11)$$

3 Amplificatorul

Principalele caracteristice tehnice impuse acestui amplificator sunt urmatoarele:

- tensiuni aplicate la intrare: U_i = (1 ... 100) mV;
- tensiunea maximă la ieșire: U_e = 1,1 V;
- curentul maxim la ieșire: I_{max} = 3 mA;
- intervalul de frecvențe: f = (0,02 ... 100) kHz;
- amplificarea: A_u = (0 ... 60) dB (reglabilă continuu cu o rezoluție de 10^{-5});
- neuniformitatea în banda de frecvențe: $M \leq 0{,}2$ dB;
- componenta continuă a tensiunii la ieșire: $U_c \leq 5$ mV;
- stabilitatea de scurtă durată a tensiunii la ieșire: Stab. ≤ 0,001 %/min.;
- stabilitatea la variația tensiunii rețelei de alimentare cu ± 10 %: Stab.(± 10 %) ≤ 0,001 %;
- distorsiuni la ieșire: $\delta_f \leq 1$ %;

Este constituit din trei etaje identice legate în cascadă [9, 10, 11, 12]. Primul și al doilea etaj au o amplificare fixă de 20 dB fiecare. Etajul 3 se deosebește de primele două numai prin aceea că amplificarea acestuia este reglabilă continuu între (0 ... 20) dB, cu ajutorul unui rezistor variabil, alcătuit din două decade de rezistoare cu pelicula metalică (toleranță 0,1 %) și un potențiometru multitură (linearitate 0,2 %), conectate în serie și situate în circuitul de reacție al primului amplificator neinversor. În acest fel se asigură o rezoluție mai bună de 10^{-5}, valoarea amplificării putând să fie citită direct pe decadele respective, cu erori mai mici ca 2 %.

Fiecare etaj de amplificare este realizat cu două amplificatoare operaționale MAC-156, primul în montaj neinversor, iar al doilea ca repetor, conform fig. 5.

Rezistoarele folosite în circuitul de reacție au un coeficient de temperatură de numai 25×10^{-6}/ °C.

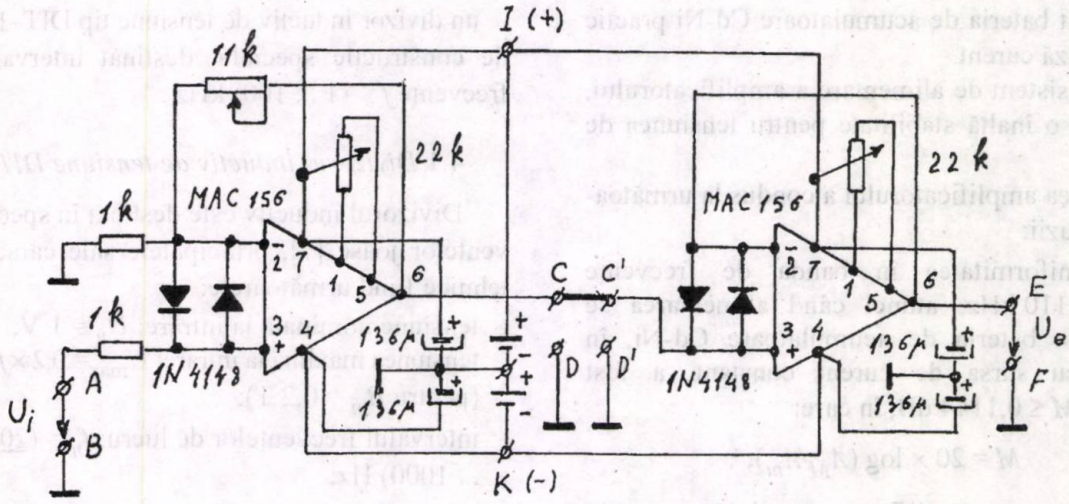


Fig. 5 Schema de principiu a unui etaj de amplificare

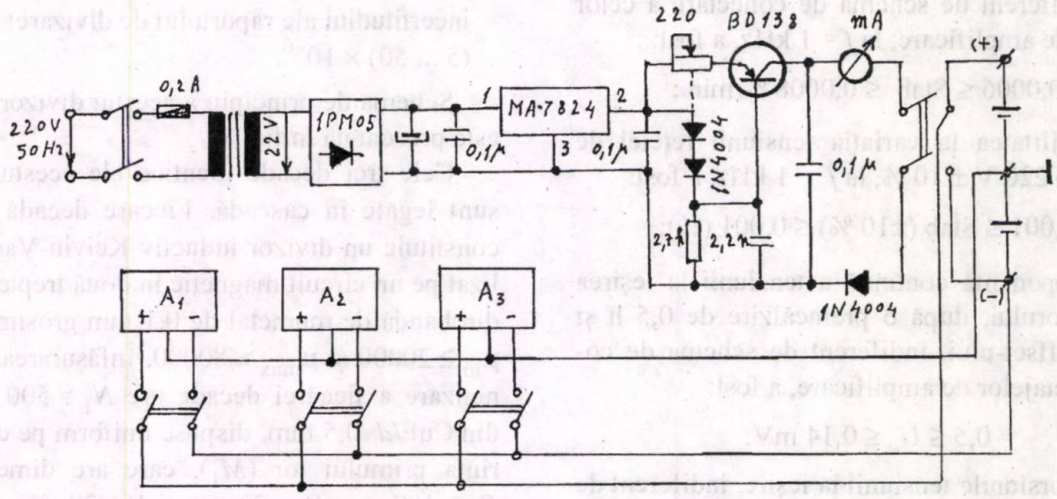


Fig. 6 Schema de principiu pentru alimentarea celor trei etaje de amplificare

Fiecare dintre cele trei etaje de amplificare este protejat la intrare prin diode.

Alimentarea celor trei etaje de amplificare se face de la o baterie de acumulatoare Cd-Ni de 2×8 V / 0,75Ah, care poate sa fie reîncărcată de la o sursă de curent constant. Sursa de alimentare este constituită dintr-un redresor alcătuit cu puntea tip 1PM 05, a cărei tensiune de ieşire este stabilizată cu regulatorul serie MA 7824. Cu această tensiune stabilizată este alimentată o sursa de curent constant, realizată cu tranzistorul BD-138, conform fig. 6.

Curentul continuu debitat de către sursă, reglabil continuu cu ajutorul unui potenţiometru multitură, este măsurat cu un miliampermetru (0 ... 200) mA, situat pe panoul posterior al blocului amplificator. Acest curent încarcă bateria Cd-Ni, 2×8 V/0,75 Ah.

Puterea debitată la ieşire de către ultimul etaj de amplificare este de numai 2,5 mW, sarcina acestuia, conform fig. 3 şi 4, fiind convertizorul termoelectric *CTU*, a cărui rezistenţă de intrare este R_{in} = 400 Ω şi care absoarbe un curent de numai 2,5 mA, la tensiune de ieşire din amplificator de 1 V.

Curentul continuu absorbit de la sursă de fiecare dintre etajele nr. 1 şi 2 este de numai 5 mA, iar cel absorbit de către etajul nr. 3, împreună cu sarcina, este de 7,5 mA.

Curentul total absorbit simultan de către etajele de amplificare poate să fie compensat în mod corespunzător, de către sursa de curent constant,

astfel încât bateria de acumulatoare Cd-Ni practic nu debitează curent.

Acest sistem de alimentare a amplificatorului, a asigurat o înaltă stabilitate pentru tensiunea de ieşire.

Testarea amplificatorului a condus la următoarele concluzii:

– neuniformitatea în banda de frecvenţe $0{,}01 \le f \le 110$ kHz, atunci când alimentarea se face de la bateria de acumulatoare Cd-Ni, în tampon cu sursa de curent constant, a fost $0{,}0329 \le M \le 0{,}1144$ dB, în care:

$$M = 20 \times \log (A_M/A_m);$$

(A_M şi A_m sunt amplificarea maximă, respectiv minimă în banda de frecvenţe);

– stabilitatea de scurtă durată a tensiunii la ieşire, indiferent de schema de conectare a celor trei etaje de amplificare, la $f = 1$ kHz, a fost:

$$-0{,}0006 \le \text{Stab.} \le 0{,}0008\ \%/\text{min.};$$

– stabilitatea la variaţia tensiunii reţelei de alimentare 220 V ± 10 %, la $f = 1$ kHz, a fost:

$$-0{,}001 \le \text{Stab.}(\pm 10\ \%) \le 0{,}001\ (\%);$$

– componenta continuă a tensiunii la ieşirea amplificatorului, după o preîncălzire de 0,5 h şi reglarea offset-ului, indiferent de schema de conectare a etajelor de amplificare, a fost:

$$-0{,}5 \le U_e \le 0{,}14\ \text{mV};$$

– distorsiunile tensiunii la ieşire, indiferent de schema de conectare a etajelor de amplificare, în intervalul de frecvenţe $0{,}02 \le f \le 100$ kHz, au fost:

$$0{,}16 \le \delta_f \le 1\ \%.$$

Aceste rezultate permit să se tragă concluzia că amplificatorul realizat corespunde scopului propus, prezentând o caracteristică de frecvenţă destul de plată, o bună stabilitate de scurtă durată, o bună stabilitate la variaţia cu ± 10 % a tensiunii reţelei de alimentare, precum şi distorsiuni relativ mici.

4 Divizoarele inductive de tensiune

Având în vedere intervalul relativ mare de frecvenţe în care trebuie să funcţioneze instalaţia pentru măsurarea tensiunilor mici, au fost realizate două divizoare inductive de tensiune:

– divizor inductiv de tensiune tip DIT–20 Hz, intervalului de frecvenţe $f = (20 \ldots 1000)$ Hz;

– un divizor inductiv de tensiune tip DIT–100 kHz, de construcţie specială, destinat intervalului de frecvenţe $f = (1 \ldots 100)$ kHz.

4.1 *Divizorul inductiv de tensiune DIT–20 Hz*

Divizorul inductiv este destinat în special frecvenţelor joase [7], principalele sale caracteristici tehnice fiind următoarele:

– tensiune nominală la intrare: $U_n = 1$ V;
– tensiunea maximă la intrare: $U_{max} = 0{,}2 \times f \le 300$ V (pentru $B_m = 0{,}2$ T);
– intervalul frecvenţelor de lucru: $f_n = (\underline{20 \ldots 200} \ldots 1000)$ Hz;
– numărul de decade: 3;
– rapoarte de divizare: reglabile în trepte de 0,001 în intervalul $K_u = 0 \ldots 0{,}999$;
– incertitudini ale raportului de divizare: $(5 \ldots 50) \times 10^{-6}$.

Schema de principiu a acestui divizor inductiv este prezentată în fig. 7.

Cele trei decade identice ale acestui divizor sunt legate în cascadă. Fiecare decadă în parte constituie un divizor inductiv Kelvin-Varley, realizat pe un circuit magnetic în două trepte, alcătuit din bandă de mumetal de 0,1 mm grosime, având $\mu_{in} \ge 20000$ şi $\mu_{max} \times 80000$. Înfăşurarea de magnetizare a fiecărei decade are $N_1 = 500$ de spire din CuE/d=0,5 mm, dispuse uniform pe circumferinţa primului tor (M_1), care are dimensiunile: $D_e = 100$ mm, $D_i = 70$ mm şi $H = 30$ mm. Al doilea tor (M_2)are aceleaşi dimensiuni ca şi primul tor, cu excepţia înălţimii care este $H = 15$ mm şi este situat alături de primul tor. Pentru izolarea şi consolidarea celor doua toruri, au fost folosite benzi elastice impregnate şi rondele izolante din preşpan.

Peste acest ansamblu a fost bobinată o funie constituită din 10 conductoare, conţinând $N_2 = 10 \times 50$ spire din CuE/d=0,5 mm, distribuite uniform în lungul circuitului magnetic. Pe acelaş strat este distribuită uniform înfăşurarea $N_3 = 50$ spire, pentru alimentarea înfăşurării de magnetizare a decadei următoare.

Schema de principiu a divizorului inductiv a fost astfel întocmită încât, cu ajutorul celor trei întrerupătoare monopolare, K_1, K_2 şi K_3, divizorul să poată fi utilizat atât ca divizor inductiv în două trepte, cât şi ca divizor inductiv cu un singur circuit magnetic.

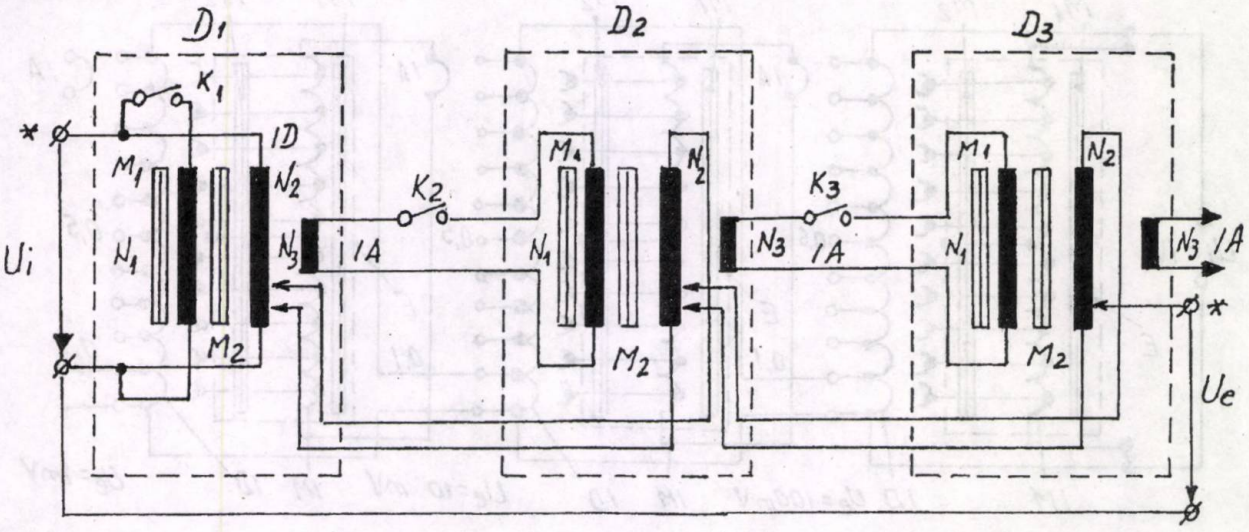


Fig. 7 Schema de principiu a divizorului inductiv de tensiune, pentru frecvențe joase, (DIT-20 Hz)

Testarea în laborator a acestui divizor a fost efectuată având ca referință etaloanele INM, și au condus la următoarele concluzii:

• la frecvența $f = 400$ Hz și $U = 1$ V la intrare, erorile fiecărei decade în parte pentru $K_u = 0{,}1 \ldots 0{,}9$ nu au depășit:
- pentru raport valoarea: $0{,}62 \times 10^{-6}$, (incertitudini $0{,}01 \times 10^{-6}$);
- pentru unghi valoarea: $1{,}14 \times 10^{-6}$, (incertitudini $0{,}02 \times 10^{-6}$).

• la frecvențele $f = 50$ și 60 Hz, pentru $K_u = 0{,}5$ și $U = 1$ V la intrarea primei decade, erorile de raport nu au depășit valoarea $0{,}25 \times 10^{-6}$ (incertitudini $0{,}01 \times 10^{-6}$), iar erorile de unghi nu au depășit valoarea $0{,}43 \times 10^{-6}$ (incertitudini $0{,}02 \times 10^{-6}$);

• la frecvența $f = 1000$ Hz, pentru $K_u = 0{,}5$ și $U = 1$ V la intrarea primei decade, erorile de raport nu au depășit valoarea $0{,}11 \times 10^{-6}$ (incertitudini $0{,}02 \times 10^{-6}$), iar erorile de unghi nu au depășit valoarea $0{,}24 \times 10^{-6}$ (incertitudini $0{,}02 \times 10^{-6}$).

4.2 *Divizorul inductiv de tensiune DIT–100 kHz*

Divizorul inductiv [8] este destinat în special frecvențelor $f \geq 1$ kHz, principalele sale caracteristici tehnice fiind următoarele:
- tensiunea nominală la intrare: $U_n = 1$ V;
- tensiunea maximă admisă la intrare: $U_{max} = 0{,}011 \times f \leq 300$ V (pentru $B_m = 0{,}2$ T);
- intervalul frecvențelor de lucru: $f_n = (1 \ldots 100)$ kHz;
- numărul de decade: 3;
- rapoarte de divizare: reglabile în trepte de 0,001 în intervalul $K_u = 0 \ldots 0{,}999$;
- incertitudini ale raportului de divizare: $(50 \ldots 100) \times 10^{-6}$.

Acest divizor inductiv de tensiune este constituit din trei decade Kelvin-Varley identice, având rapoarte de divizare $K_u = 0 \ldots 0{,}9$. A fost astfel proiectat și construit, încât să poată fi utilizată fiecare decadă în parte, în mod independent. Decadele se pot conecta în cascadă, efectuând conexiunile dintre decade în exterior. Schema de principiu a acestui divizor inductiv de tensiune este prezentată în fig. 8.

Fiecare decadă în parte este realizată pe un circuit magnetic în două trepte, alcătuit din mumetal de 0,1 mm grosime. Cele două circuite magnetice sunt constituite din două toruri M_1 și M_2, având aceleași caracteristici magnetice ca ale divizorului inductiv pentru frecvențe joase, dimensiunile $D_e = 100$ mm, $D_i = 70$ mm și $H = 20$ mm. Înfășurarea de magnetizare *IM* a fiecărei decade are 40 spire din conductor bandă de cupru de 5 mm lățime și 0,1 mm grosime, uniform distribuite în lungul circumferinței primului tor, M_1. De la înfășurarea de magnetizare *IM* sunt scoase prize de potențial, din două în două spire, în total 21 de prize.

Al doilea tor magnetic M_2 este situat alături de primul tor magnetic M_1 și consolidat de primul, prin două straturi de bandă elastică, impregnată în rășină sintetică.

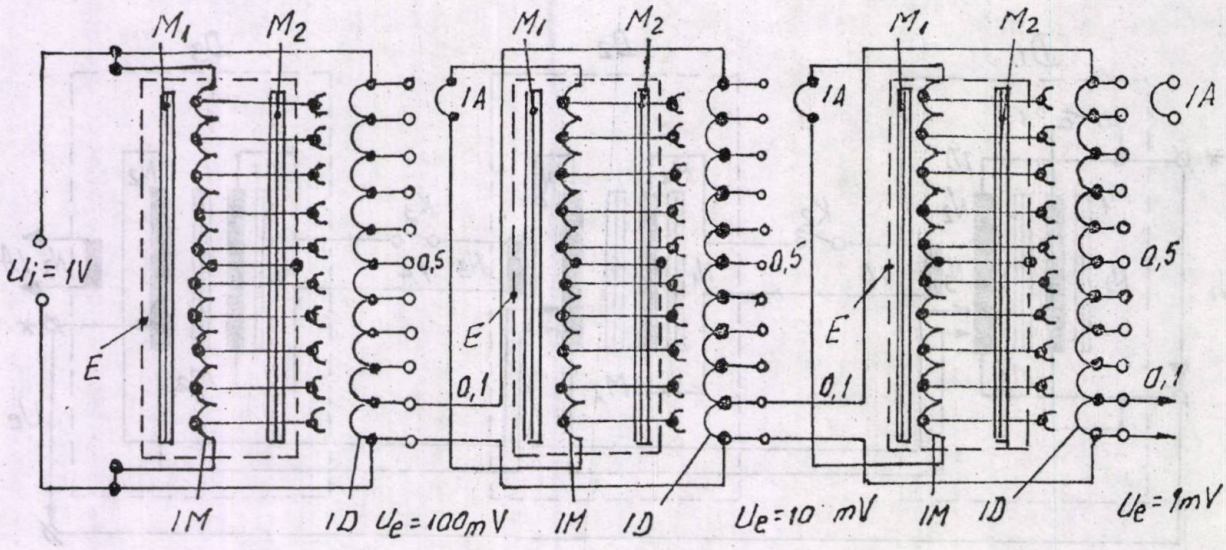


Fig. 8 Schema de principiu a divizorului inductiv de tensiune, pentru frecvențe mari, (DIT-100 kHz)

Acest ansamblu constituie prima treaptă a circuitului magnetic şi a fost introdusă într-o casetă de aluminiu de 3 mm grosime, având rol de ecran electrostatic. Cele 21 prize de potențial ale înfăşurării de magnetizare ies în exterior pe la marginea capacului casetei ansamblului circuitului magnetic.

Peste acest ansamblu au fost bobinate 10 secțiuni a 4 spire fiecare, constituind înfăşurarea de divizare *ID*, uniform distribuită în lungul circumferinței torului. În acest scop a fost folosit un conductor special ecranat, având în interior un conductor multifilar din cupru, izolat cu teflon, ecranat cu o tresă metalică, peste care este plasată o izolație din PVC. Cele 10 secțiuni sunt legate în serie, de la fiecare fiind scoase în exterior prize de raport, $K_u = 0{,}1 \ldots 0.9$.

De la mijlocul ecranului fiecărei secțiuni de patru spire a înfăşurării de divizare *ID*, au fost scoase prize pentru realizarea sistemului general de ecranare. Dacă la înfăşurarea de magnetizare se aplică o tensiune $U_n = 1$ V, la cele 21 prize de potențial se obțin urmatoarele tensiuni $U = (0; 0{,}05; 0{,}1; 0{,}15; \ldots ; 0{,}90; 0{,}95; 1)$ V în raport cu capătul inițial. Pentru corecta funcționare a divizorului inductiv de tensiune este necesar ca prizele notate cu: (0,05; 0,15; 0,25; ...; 0,85; 0,95) V, să fie legate în ordine la mijloacele celor 10 secțiuni ale înfăşurării de divizare *ID*. Prizele de potențial notate cu: (0,1; 0,2; 0,3; ... ; 0,8; 0,9, 1) V, trebuie să fie legate la ecranele conductoarelor de ieşire ale celor 10 secțiuni ale infăşurarii de divizare *ID*.

Pe acelaşi strat cu înfăşurarea de divizare *ID* a fost bobinată o înfăşurare *IA* având 4 spire, pentru alimentarea înfăşurării de magnetizare a decadei următoare a divizorului inductiv de tensiune.

În funcție de necesități, se pot utiliza o singură decadă, doua decade legate în cascadă, sau toate cele trei decade legate în cascadă.

Testarea acestui divizor inductiv a ridicat şi ridică în continuare probleme serioase, având în vedere că INM nu dispune de un etalon de comparație pentru frecvențe până la 100 kHz. În consecință a fost efectuată etalonarea acestuia la $f = 400$ Hz. Pentru fiecare dintre cele trei decade ale divizorului, pe toate rapoartele, nu au fost depăşite erorile:

- pentru eroarea de raport: 0×10^{-6} (incertitudini 1×10^{-6});
- pentru eroarea de unghi: 7×10^{-6} (incertitudini 3×10^{-6}).

5 Comparatorul c.a.-c.c. termoelectric de tensiune

Acest comparator termoelectric este destinat:

- calibrării amplificarii;
- măsurării tensiunilor alternative, având valori eficace $U \cong 1$ V, la $f = (0{,}02 \ldots 100)$ kHz, prin referire la o tensiune continuă;

Este constituit din urmatoarele:

CTU cap termoelectric de măsurare de tensiune $U_n = 1$ V;

CC_o circuit de compensare de curent continuu;

IN_0 indicator de nul de curent continuu;
CU_0 calibrator de tensiune continuă;
comutator dublu cu trei poziții.

Acest bloc a fost testat prin comparare la tensiunea de $U = 1$ V și $f = (0{,}02 \ldots 100)$ kHz, cu etalonul național de tensiune alternativă. Concluziile au fost următoarele:

- diferența erorilor de transfer au fost:
  $-10 \times 10^{-6} \leq E_{transfer} \leq 25 \times 10^{-6}$;
- incertitudini de măsurare: 10×10^{-6}.

6 Concluzii

Cu instalația realizată au fost verificate și etalonate, imediat după finalizarea construcției acesteia, două calibratoare de tensiune, tip 745 A/ HP-SUA și BI-9/URSS, pe intervalele de tensiune: (0 ... 1) mV, (0 ... 10) mV și (0 ... 100) mV.

Erorile calibratorului 745 A au fost cuprinse în limitele: $0{,}01 \leq E_x \leq 2{,}5$ %, pentru o abatere standard experimentală a mediei: $0{,}0001 \leq S_0 \leq 0{,}046$ %.

Erorile calibratorului BI-9 au fost cuprinse în limitele: $0{,}01 \leq E_x \leq 5{,}2$ %, pentru o abatere standard experimentală a mediei: $0{,}002 \leq S_0 \leq 0{,}02$ %.

Ambele calibratoare s-au încadrat în limitele erorilor tolerate indicate în cărțile tehnice respective.

Erorile calibratorului 745 A au fost ceva mai mici față de cele ale calibratorului BI-9, în special pentru intervalul $U_n = 1$ mV, la $f = 100$ kHz.

Testările instalției, pe fiecare bloc în parte, precum și pe ansamblu, la etalonarea celor două calibratoare, au demonstrat eficacitatea și corecta funcționare, în întregul interval de tensiuni, $U_n = 1$ mV ... 1 V, la $f = (0{,}02 \ldots 100)$ kHz, incertitudinile extinse de măsurare obținute (pentru un nivel de încredere de 99 %), încadrându-se în intervalul admis inițial pentru instalație:

$$0{,}1 \leq U_e \leq 0{,}01 \ \%$$

Aprecierea incertitudinii extinse s-a efectuat pe baza componentelor parțiale ale incertitudinilor, determinate în funcție de erorile sistematice nedeterminate, precum și în funcție de alți factori care pot perturba rezultatelor măsurărilor:

- stabilitate de scurtă durată a tensiunii la ieșirea blocului amplificator;
- stabilitatea tensiunii la ieșirea blocului amplificator, la variația tensiunii de alimentare cu 10 %;
- valoarea componentei continue a tensiunii la ieșirea blocului amplificator;
- dezechilibrul indicatorului de nul de curent continuu;
- incertitudinile divizorului inductiv DIT–20 Hz;
- incertitudinile divizorului inductiv de tensiune DIT–100 kHz;
- comparatorul termoelectric;
- incertitudinea calibratorului de tensiune continuă;
- variația temperaturii mediului ambiant, cu 3 °C/h.

Au rezultat pentru incertitudinile extinse (nivel de încredere 99 %), următoarele valori:

$f \leq 1$ kHz : $U_e = 50 \times 10^{-6}$;
$1 < f \leq 50$ kHz : $U_e = 85 \times 10^{-6}$;
$f = 100$ kHz : $U_e = 200 \times 10^{-6}$.

Valorile obținute sunt mai mici decât incertitudinile extinse, propuse inițial pentru instalație.

Realizarea acestei instalații în cadrul INM a permis extinderea utilizării etaloanelor naționale de tensiune alternativă, în intervalul $1 \text{ mV} \leq U \leq 1000$ V pentru $f = (0{,}02 \ldots 100)$ kHz, ceea ce acoperă integral necesitățile economiei naționale.

BIBLIOGRAFIE

[1] *R. Soviany, M. Rizea, I. Gliga*, Studiu. Tema A-218 – Realizarea etaloanelor naționale de tensiune în c.a. (INMB-1977/1978).

[2] *R. Soviany, M. Rizea, I. Gliga*, Studiu. Tema BR-406 – Creșterea preciziei etalonului național de tensiune în curent alternativ. (INMB-1986/1987).

[3] *R. Soviany, M. Rizea, I. Gliga*, Studiu. Tema A-9 – Realizarea etaloanelor de tensiuni mici, U=1 mV ... 1 V, la f(0,02 ... 100) kHz. (INMB-1992/1994).

[4] *R. Soviany, M. Rizea*, Intercompararea etaloanelor naționale de tensiune ale Romaniei și URSS, $U = (1 \ldots 10)$ V, $f = 20$ Hz ... 30 MHz. (INM/București – octombrie 1990 și VNIIM/Sct.Petersburg – noiembrie 1990).

[5] *R. Soviany*, Comparația etaloanelor de referință de tensiune $U = 1$ V și 2 V, la $f = (0{,}02 \ldots 100)$ kHz ale INMB/ Romania și PTB-Braunsweig/Germania (decembrie 1995).

[6] AC Calibrator 745 A – Operating and service manual. (HP/SUA).

[7] *J. J. Hill*, New apparatus for highly-accurate ratio measurements. Instrument Society of America. ISA-70. Philadelphia, Oct. 26, 1970.

[8] *D. N. Homan*, Two stage, guarded inductive voltage divider for use at 100 kHz. ISA Transactions. Vol. 9, nr. 3, 1970.

[9] *A. Barna*, Amplificatoare operaționale. (Traducere din literatura americană, după ediția 1971). Editura Tehnică București, 1974.

[10] *I. Sabin*, Introducere practică în electronică. Editura Facla – Timișoara, 1988.

[11] *E. Miron, C. Miron, L. Feștilă*, Montaje electronice cu circuite integrate. Editura Dacia – Cluj Napoca,1986.

[12] *B. Bărbat, I. Presură, T. Tănăsescu*, Amplificatoare de audiofrecvență. Seria radioreceptoare. Editura Tehnică, București, 1972.

CONSERVAREA UNITĂȚII DE TENSIUNE ELECTRICĂ ÎN INSTITUTUL NAȚIONAL DE METROLOGIE DIN ROMÂNIA

Paula ILIE[*)]
Mariana SIMIONESCU[*)]
Liliana CÎRNEANU[*)]

Abstract: *A short history of the evolution of the systems of electric measurement units (for current, electromotive force and resistance) is presented, starting from the International Conference on the main electric measurement units and standards, that took place in 1908, in London. The paper also describes how the measurement unit for voltage has been preserved in Romania since 1937.*

Résumé: *On présente un court historique de l'évolution des systèmes d'unités électriques (pour le courant, la force électromotrice et la résistance), à partir de la Conférence Internationale pour les principales unités de mesure et étalons électriques qui a eu lieu en 1908, à Londre. On présente aussi comment on conserve l'unité de tension électrique en Roumanie à partir de 1937 jusqu'à présent.*

1 Introducere

În anul 1908 a avut loc la Londra o conferință internațională pe tema unităților de măsură și etaloanelor electrice, în cursul căreia au fost luate decizii importante ce au influențat hotărâtor măsurările următorilor 40 de ani. Cu acea ocazie a fost evidențiată preocuparea fizicienilor de a face distincție între definițiile unităților de măsură și materializarea lor.

Astfel, unitățile de măsură electrice – unități electromagnetice CGS, făceau parte din Sistemul practic de unități, în care: ohmul reprezenta 10^9 unități electromagnetice CGS de rezistență, amperul 10^{-1} unități electromagnetice CGS de intensitate a curentului electric, voltul 10^8 unități electromagnetice CGS de diferență de potențial.

Reprezentarea fizică a acestor unități constituia însă un alt sistem, denumit Sistemul Internațional[**)], întemeiat pe baza a două etaloane materializate: ohmul internațional și amperul internațional.

Astfel, la următoarea Conferință de la Londra, au fost prezentate două sisteme:

– Sistemul CGS absolut, pur teoretic, cu multiplii și submultiplii săi practici (ohm, volt etc.).

– Sistemul Internațional care asigură uniformitatea măsurărilor electrice pe plan mondial și permite reproducerea unităților, cu cea mai bună exactitate posibilă la acel moment.

În 1908, coincidența între cele două sisteme nu deranja, dar progresele rapide în domeniul metrologiei electrice au făcut să apară, curând, divergențe supărătoare. În acest context, în prima sa sesiune, în noiembrie 1928, Comitetul Consultativ de Electricitate (CCE) propune Conferinței Internaționale de Măsuri și Greutăți (CIPM), înlocuirea sistemului internațional cu un sistem absolut, derivat din sistemul CGS și stabilirea, cât mai curând posibil, a relațiilor dintre unitățile absolute și unitățile internaționale (de curent, de tensiune electromotoare și de rezistență) [2].

În iunie 1939, CCE examinează exactitatea obținută în relațiile dintre unitățile absolute și unitățile internaționale și recomandă trecerea la unitățile absolute. Evenimentele din politica mondială au împiedicat însă întrunirea CIPM înainte de 1946.

În 1946, CIPM hotărăște ca data de 1 ianuarie 1948 să fie data intrării în vigoare a sistemului de unități electrice absolute, stabilind de asemenea și relațiile ce se vor utiliza la trecerea de la unitățile internaționale, la unitățile absolute. În același timp, erau formulate și definițiile amperului, voltului și ohmului. Toate aceste decizii au fost aprobate la a 9-a Conferință Generală de Măsuri și Greutăți, din 1948 [3].

2 Etaloane de tensiune electrică

În Institutul Național de Metrologie, unitatea de tensiune electrică, *voltul*, este conservată cu ajutorul grupurilor de elemente saturate Weston, acceptat ca etalon de tensiune electrică, încă din 1910. În decursul timpului, datorită calităților sale metrologice excepționale, elementul Weston a fost păstrat ca etalon de tensiune electrică și pe plan internațional.

Tensiunea electromotoare (t.e.m) la 20°C a elementelor Weston din grupul național, este cuprinsă în următorul interval de valori: (1,0186299 ... 1,0186413) V,

*) Institutul Național de Metrologie, șos. Vitan Bârzești nr. 11, sector 4, București.
**) Acest sistem *internațional*, denumit așa la Congresul de la Chicago din 1893, pentru a-l deosebi de Sistemul CGS absolut, nu trebuie confundat cu Sistemul Internațional de Unități (SI) adoptat de a 11-a Conferință Generală de Măsuri și Greutăți în anul 1960.

foarte restrâns față de cel admis prin reglementări internaționale: (1,01853 ... 1,01870) V.

Având în vedere importanța elementelor Weston, au fost efectuate numeroase cercetări, care au condus la noi metode de realizare a acestora, privind puritatea substanțelor utilizate, modul de umplere, condiții de păstrare etc., stabilindu-se prescripții internaționale pentru toate acestea. În ciuda tuturor prescripțiilor, valorile tensiunilor electromotoare au rămas diferite de la element la element, hotărându-se atunci un interval în care aceasta trebuie să se mențină.

Cele mai importante caracteristici metrologice ale elementelor Weston sunt cele referitoare la: coeficientul de temperatură, valorile histerezei (mărime ce caracterizează calitatea unui element Weston), valoarea t.e.m, rezistența internă etc.

Numeroasele cercetări efectuate în INMB de-a lungul anilor, au avut ca obiectiv determinarea acestor caracteristici [5]. Astfel, elementele Weston care intră în componența actualului etalon național sunt caracterizate de următorii parametri: coeficientul de temperatură la 20°C este cuprins între (39,3 ... 40,3) μVK^{-1}, valoarea t.e.m este cuprinsă în intervalul menționat, rezistența internă este cuprinsă între (300 – 400) Ω, iar histereza datorată temperaturii este ≤ 2 μV.

Păstrarea unității de tensiune în INMB, se realizează prin valoarea mediei t.e.m ale elementelor din grup (media t.e.m. din grup este mai stabilă decât valorile individuale ale t.e.m) valoare stabilită periodic în urma etalonărilor individuale ale elementelor față de valoarea primită de la BIPM, prin etalonul voiajor. Totuși, din diferite cauze, elementele Weston componente ale grupului național, pot prezenta modificări ale t.e.m, fiind necesară evaluarea anuală a variației t.e.m individuale în raport cu valoarea mediei grupului, eliminându-se acele elemente ale căror variații de t.e.m depășesc limitele admise. Aceste variații se determină anual prin intercompararea elementelor din grup [4].

Elementul Weston este un etalon fragil, sensibil la șocuri, la vibrații și lumină, iar răsturnarea lui provoacă modificarea iremediabilă a valorii t.e.m, în afara limitelor admise. De asemenea este foarte sensibil la variația bruscă a temperaturii, fiind necesare uneori câteva luni pentru stabilizarea t.e.m. Din această cauză sunt necesare variații mici și lente de temperatură, așa încât t.e.m. să o poată urmării îndeaproape, conform formulei. Toate acestea dovedesc că se impun condiții riguroase privind păstrarea și măsurarea elementelor Weston.

3 Laboratorul în care se conservă și se măsoară elementele Weston

Institutul Național de Metrologie conservă și măsoară elementele Weston în laboratoare termostatate, elementele fiind imersate în băi cu ulei de parafină așa încât capacitatea termică a uleiului să reducă fluctuațiile de temperatură și să mențină echilibrul termic al acestora. Aceste băi nu sunt prevăzute cu termostatare proprie, dar sunt amplasate în mijlocul unor încăperi termostatate.

Primul laborator termostatat s-a realizat în anul 1953, într-o încăpere situată la nivelul 2 subsol și a funcționat până în anul 1970, când INMB s-a mutat într-un local nou. Acesta era prevăzut cu o instalație de răcire, cu ajutorul unei instalații frigorifice și o instalație de încălzire, cu conductoare de rezistență plasate în interiorul laboratorului. Reglajul automat al temperaturii asigură o menținere a acesteia în limitele de (20,0 ± 0,5) °C. Temperatura din baia în care sunt menținute elementele este stabilizată și măsurată cu o exactitate de 0,01°C [5].

Începând cu anul 1970, conservarea și măsurarea elementelor Weston se efectuează în încăperi separate. Pentru conservare, elementele Weston sunt introduse într-o baie de ulei situată în mijlocul unei încăperi termostatate cu pereți dubli, situată la subsol, iar pentru măsurarea acestora este destinată încăperea alăturată, tot termostatată. În baia în care sunt introduse elementele Weston, înaintea măsurării cu cel puțin 30 de zile, trebuie asigurată o temperatură constantă la nivel de 10 mK, pentru ca în timpul măsurării, aceasta să nu varieze cu mai mult de 2 mK.

4 Conservarea unității de tensiune electrică

Modul de exprimare al unității de tensiune electrică a parcurs mai multe etape din anul 1937 până în prezent, în funcție de sistemul de unități de măsură utilizat, sau de modul de realizare al acesteia la BIPM.

Anul 1937 a fost anul în care INMB a primit pentru prima dată unitatea de tensiune electrică de la BIPM [4], prin etalonarea grupului de elemente Weston, *grup 1937*, valorile t.e.m ale elementelor componente fiind exprimate în volt mediu internațional (V_M). Voltul mediu a fost definit în 1933, conform hotărârii Conferinței de la Londra din 1908, ca medie a unității de tensiune electrică obținute de la șase mari laboratoare naționale:

- Physikalish-Technische Reichsanstalt Berlin
- National Bureau of Standards Washington
- Laboratoire Central d'Electricité Paris
- National Physical Laboratory Teddington
- Laboraitoire Electrotechnique Tokyo
- Institutul de Metrologie Leningrad

S-au adoptat simbolurile de mai jos, acestea utilizându-se în continuare pentru desemnarea unităților naționale, reprezentând cele șase laboratoare menționate:

- Germania (PTB) ... V_A
- Statele Unite (NBS) ... V_E
- Franța (LCIE) ... V_F
- Anglia (NPL) ... V_G
- Japonia (ETL) ... V_J
- URSS (IM) ... V_U

Asfel, voltul mediu internațional utilizat și în România între 1937-1956, se exprima astfel:

$$V_M = \frac{1}{6}(V_A + V_E + V_F + V_G + V_J + V_U).$$

O dată cu etalonarea la BIPM a grupului etalon de elemente Weston *grup 1954*, în anul 1956 s-a trecut la voltul absolut (V_{abs}), deci trecerea la unitățile electrice absolute a fost efectuată mai târziu în România, față de 1 ianuarie 1948, data intrării în vigoare a sistemului absolut de unități pe plan internațional.

Relația dintre voltul internațional și cel absolut este:

1 volt internațional = 1,000330 volt absolut.

În perioada 1956-1970 unitatea de tensiune electrică în INM era conservată prin valorile medii exprimate în V_{BIPM} ale grupurilor de elemente Weston etalonate la BIPM. Astfel, în perioada 1956-1962 valoarea voltului a fost conservată prin menținerea constantă a mediei grupului etalon 1954 de fabricație românească, în perioada următoare 1962-1967 prin grupul 1964 și un grup monotubular, ambele etalonate la BIPM în anul 1962, iar în perioada 1967-1970 prin valoarea medie a grupului românesc 1964, etalonat la BIPM în 1967 și 1970. Între cele două etalonări efectuate la BIPM s-a constatat o stabilitate foarte bună a mediei grupului (fapt menționat și de către BIPM în certificatul de etalonare emis în anul 1970), valoarea sa variind cu numai 0,6 μV, în timp de 3 ani.

În anul 1970, unitatea de tensiune electrică, *voltul*, a suferit două modificări importante pe plan internațional. Prima constă în modificarea valorii cu 11×10^{-6}, de la data de 1 ianuarie 1969, consecință a exactității rezultatelor măsurărilor absolute, iar a doua în modul de a simboliza unitatea, astfel încât, V_{BIPM} din expresia acesteia devenea $V_{69\text{-}BI}$.

Aceste schimbări de pe plan internațional s-au făcut simțite și în România, începând din anul 1970, când noua unitate a voltului a devenit:

$$V_{69\text{-}BI} = (1 - 11 \times 10^{-6})\, V_{BIPM},$$

unde $V_{69\text{-}BIPM} = 0{,}99998928\, V_{BIPM}$

În perioada 1970-1977 unitatea de tensiune era menținută prin media grupului de elemente Weston 1964, cu o exactitate de 2 μV, confirmată în 1970, cu ocazia etalonării a două grupuri etalon la BIPM.

Începând din 1 ianuarie 1976, BIPM utiliza pentru atribuirea valorii unității de tensiune electrică, efectul Josephson, iar din 1977, cu ocazia etalonării a două grupuri etalon românești (1960 și 1971), unitatea a fost transmisă în acest fel și către INMB.

Tot de la 1 ianuarie 1976, ținând cont de Recomandarea E 75-2 a CCE, aprobată de CIPM la cea de-a 64-a sesiune (1975), BIPM a realizat unitatea de t.e.m, bazându-se pe efectul Josephson și admițând că frecvența corespunzătoare unui volt este 483594,0 GHz. T.e.m astfel realizată este simbolizată cu $V_{76\text{-}BI}$ estimându-se că valoarea frecvenței amintite reproduce diferența de potențial $V_{69\text{-}BI}$, așa cum a fost ea reprezentată prin etaloanele BIPM la 1 ianuarie 1969.

Trebuie însă menționat că din cauza derivei tensiunii electromotoare a etaloanelor BIPM, între 1 ianuarie 1969 și 1 ianuarie 1976, la data din urmă a intrat în vigoare noua valoare a voltului și anume:

$$V_{76\text{-}BI} = (1 + 2{,}4 \times 10^{-6})\, V_{69\text{-}BI}$$

Se estimează că reprezentarea voltului prin această simbolizare este dată acum cu o incertitudine de 1×10^{-5}, conform definiției unității SI de tensiune electromotoare, provenind de la exactitatea limitată de realizare absolută a amperului.

Începând din anul 1990, unitatea de tensiune electrică în INMB s-a modificat cu 8,06 μV, datorită modificării acesteia de către BIPM, conform recomandării 1 (CI – 1988).

Această recomandare se referă la etaloanele de t.e.m și urmărește asigurarea uniformității pe plan internațional a unității de tensiune electrică bazată pe efectul Josephson, propunându-se o nouă valoare a constantei Josephson notată $K_{J\text{-}90}$ și egală cu 483597,9 GHz/V față de vechea valoare $K_{J\text{-}72}$ egală cu 483594 GHz/$V_{76\text{-}BI}$. Rezultă $V_{76\text{-}BI}$ = 1 V – 8,06 μV.

În prezent, valoarea unității de tensiune electrică este conservată tot prin grupuri etalon de elemente Weston etalonate la BIPM în anii 1978, 1980, 1988, 1992 și cu ajutorul etalonului electronic de tensiune electromotoare bazat pe diode Zener etalonat la BIPM în anul 1995.

Elementele Weston din grupuri au fost urmărite în timp și majoritatea acestora au prezentat o stabilitate bună.

5 Concluzii

Conservarea unității de tensiune electrică în România, începând din anul 1937 și până în prezent, realizată prin grupuri etalon de elemente Weston, a asigurat transmiterea unității de tensiune cu exactitatea necesară și la nivelul majorității laboratoarelor metrologice din lume.

BIBLIOGRFIE

[1] Procès – Verbaux C.I.P.M. 13, 1929, p. 58

[2] Procès – Verbaux C.I.P.M. 20, 1945-1946, p.129

[3] Comptes Rendus 9° C.G.P.M, 1948, p. 49

[4] *P. Ilie, L. Cîrneanu, M. Simionescu* – Considerente asupra etaloanelor de tensiune și rezistență electrică, Metrologie nr. 4, 1998

[5] *A. Millea* – Realizări ale secției mărimi electrice din Institutul de Metrologie, Metrologia Aplicată nr. 8-9, vol.13 – 1966

[6] Conservation du volt au BIPM – 29 iulie 1977

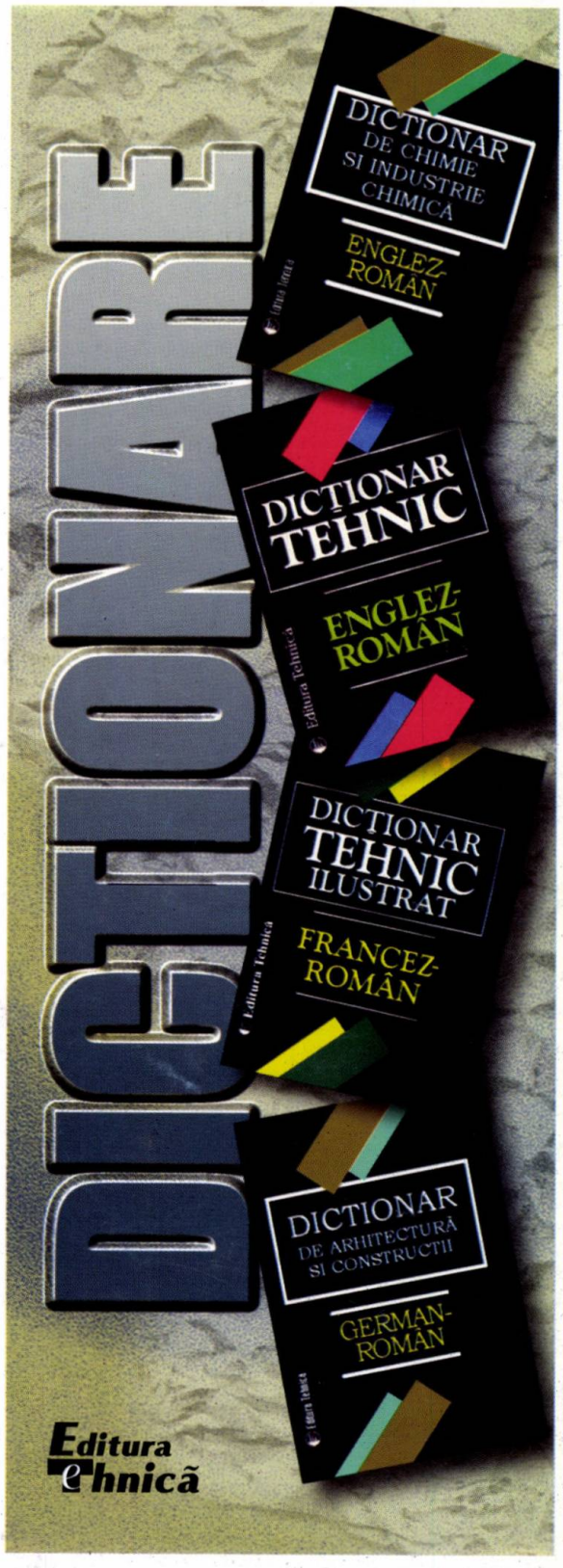
Au apărut la
Editura Tehnică :

⇒ **Dicționar tehnic**
Englez - român

⇒ **Dicționar tehnic ilustrat**
Francez - român

⇒ **Dicționar de construcții și arhitectură**
German - român

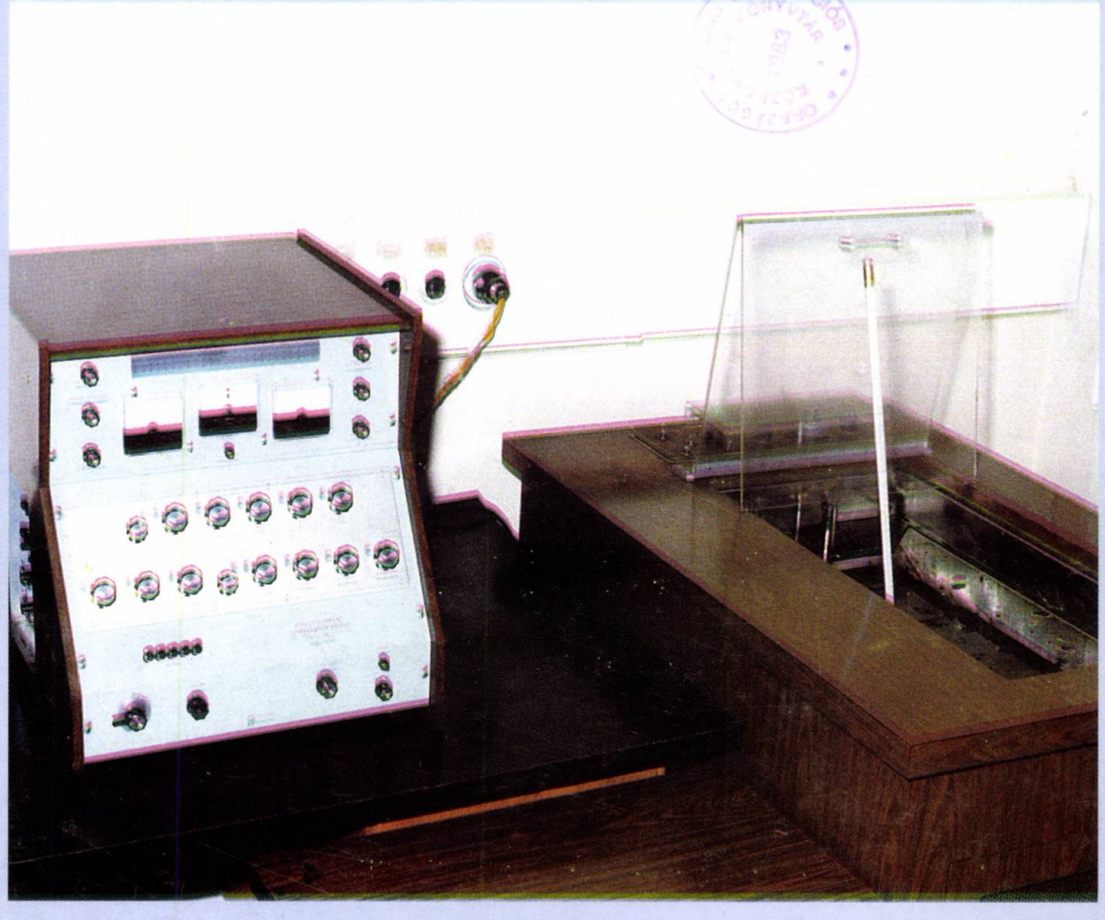
⇒ **Dicționar de chimie și industrie chimică**
Englez - român



INM Nr. 3/1999

E 8225. FF
8 000001 093669

metrologie



INFORMÁCIOS

SUMMARY

LIVIA DRAGOMIR: The national standard for DC voltage 66

FLORIN MIREA: The reference standard of Romania for low AC voltage ratio within the radiofrequency range 70

ARMINE CARANFILIAN, CHETI RADU, ANCA ELENA NESTOR: The national standard for electric capacity of Romani 79

ELVIRA BUZAC: The measurement of AC voltage using AC - DC comaparison 83

IOANA ODOR, MARCEL BUTNARU: The calibration/ metrological verification of testing equipment for watt-hour meters 89

LIVIA DRAGOMIR, GELU POPOVICI: Calibration method for 10 000 Ω standard resistors 91

SOMMAIRE

LIVIA DRAGOMIR: L'étalon national de tension électrique en courant continu 66

FLORIN MIREA: L'étalon de référence pour le rapport de tensions basses en courant alternatif de radiofréquence de Roumanie 70

ARMINE CARANFILIAN, CHETI RADU, ANCA ELENA NESTOR: L'étalon national de capacité électrique de Roumanie 79

ELVIRA BUZAC: Le mesurage de la tension électrique alternative par comparaison c.a. - c.c. 83

IOANA ODOR, MARCEL BUTNARU: L'étalonnement/ vérification métrologique des installations d'essai pour les computers d'énergie électrique .. 89

LIVIA DRAGOMIR, GELU POPOVICI: Méthode d'étalonnage pour les resisteurs étalons de 10 000 Ω . 91

REDACȚIA

INSTITUTUL NAȚIONAL DE METROLOGIE

Şos. Vitan-Bârzeşti nr. 11, sector 4, tel. 3344020
şi 3345520/191; Bucureşti; 75669

ISSN 1200-546 X

EDIȚIE REALIZATĂ SUB ÎNGRIJIREA

Editurii Tehnice

Piața Presei Libere 1, sector 1, Bucureşti, cod poştal 71341,
tel. 222.66.30, fax 224.21.64

Cererile pentru abonamente vor fi adresate Editurii Tehnice S.A., Biroul de comenzi şi desfacere,
Bucureşti, str. Oteteleşeanu nr. 1, sector 1, cod poştal 70702. tel. 315.88.66
cont virament 2511.1 – 200.1 / ROL deschis la BCR sector 1.
Costul unui abonament anual este 62 000 lei.

METROLOGIE

Publicaţie tehnico-ştiinţifică

editată de

INSTITUTUL NAŢIONAL DE METROLOGIE

SUMAR

LIVIA DRAGOMIR: Etalonul naţional de tensiune electrică în curent continuu 66

FLORIN MIREA: Etalonul de referinţă de raport de tensiuni mici în curent alternativ de audiofrecvenţă al României 70

ARMINE CARANFILIAN, CHETI RADU, ANCA ELENA NESTOR: Etalonul naţional de capacitate electrică al României 79

ELVIRA BUZAC: Măsurarea tensiunii alternative prin compararea c.a.-c.c. Utilizarea termocuplurilor în vid pentru măsurarea valorii eficace a tensiunii alternative la $f = 20$ Hz ... 100 kHz 83

IOANA ODOR, MARCEL BUTNARU: Problematica etalonării/verificării instalaţiilor de verificat contoare de energie electrică 89

LIVIA DRAGOMIR, GELU POPOVICI: Metodă de etalonare a rezistoarelor etalon de 10 000 Ω 91

*
* *

Colectivul de redacţie: dr. ing. Dragoş Boiciuc (*redactor responsabil*), Viorica Burciu (*secretar de redacţie*), dr. ing. chim. Mirella Buzoianu, ing. Gabriel Iordăchescu, fiz. Gheorghe Ispăşoiu, dr. ing. Aurel Millea, ing. Ionel Urdea.

Etalonul național de tensiune electrică în curent continuu

Livia DRAGOMIR *)

Abstract: *The paper presents the structure of the national standard for DC voltage, its international traceability and the ways to maintain and to operate the standard, as well as the methods to evaluate the measurement uncertainty.*

Résumé: *L'article présente la structure de l'étalon national de tension électrique en courant continu, sa traçabilité internationalle et les modalités parmi lesquelles on consèrve et on utilise cet étalon, aussi que les méthodes d'évaluation de l'incertitude de mesurage*

1 Introducere

Etalonul național de tensiune electrică în curent continuu constituie baza de transmitere a unității de măsură a tensiunii electrice în curent continuu și reprezintă una din unitățile de măsură a cărei preluare de la BIPM, păstrare și transmitere condiționează uniformitatea, exactitatea și legalitatea măsurărilor electrice din țară. Etalonul național de tensiune electrică al României este deținut, perfecționat, conservat și utilizat de către Institutul Național de Metrologie (INM), prin hotărâre a Guvernului.

Pe baza unităților de tensiune și rezistență electrică în curent continuu se determină celelalte unități de măsură electromagnetice în curent continuu și alternativ de frecvență joasă și înaltă.

În conformitate cu schemele de transmitere, etalonul de tensiune electrică în curent continuu stă la baza etalonării și verificării unui număr mare de măsuri și mijloace de măsurare în curent continuu: elemente Weston, voltmetre analogice și digitale, calibratoare, compensatoare de curent continuu, divizoare rezistive de tensiune etc.

2 Descrierea etalonului național

Etalonul național de tensiune electrică al României este un etalon de grup format din 11 elemente Weston de tip saturat având caracteristici metrologice apropiate, de aceeași vechime și aceeași fabricație, cu o stabilitate anuală mai bună de 2 μV. Valorile convențional adevărate ale elementelor din componența grupului sunt cuprinse în intervalul (1,018 629 9 ... 1,018 641 3) V. Incertitudinea de etalonare: $(6 \ldots 8) \times 10^{-7}$, pentru $k = 2$, $P \approx 95\%$.

Elementele Weston sunt pile electrice saturate, în formă de H. Electrodul pozitiv este un amestec mercur-sulfat mercuros. Electrodul negativ este un amalgam de cadmiu. Electrolitul este o soluție de sulfat de cadmiu $CdSO_4$ 8/3 H_2O saturată la 20°C. La fabricarea elementelor se folosesc substanțe chimice de înaltă puritate. Vasul este confecționat din sticlă dură, insolubilă, neutră, rezistentă la temperatură. Bornele sunt din sârmă de platină.

Păstrarea, manipularea și măsurarea elementelor Weston se realizează în condiții care trebuie să țină cont de o serie de particularități ale acestora și anume:

- elementele sunt fragile, deci trebuie manipulate cu o grijă deosebită; trebuie ferite de zdruncinări, vibrații, loviri sau șocuri mecanice;
- trebuie să fie ferite de expunere la lumină;
- nu trebuie să fie răsturnate sau înclinate, deoarece se pot combina substanțele din interior, ducând la distrugerea pilei electrice;
- curentul debitat la borne trebuie să fie mai mic de 10^{-8} A; scurtcircuitarea bornelor duce la distrugerea elementului;
- valoarea tensiunii electromotoare (t.e.m.) a elementelor este dependentă de temperatură, coeficientul de temperatură fiind de – 40 μV/°C;
- valoarea tensiunii electromotoare (t.e.m.) a elementelor este puternic afectată de feno-

*) Institutul Național de Metrologie, șos. Vitan Bârzești nr. 11, sector 4, București.

menul de histerezis termic; timpul de revenire la valoarea inițială, după modificarea valorii ca urmare a variației temperaturii, este 10 – 30 zile.

Grupul etalon național se păstrează într-o baie cu ulei, amplasată într-o încăpere cu pereți dubli, termostatată la temperatura de 20°C ± 0,5°C și umiditatea relativă 50% ... 70%, în condiții de securitate împotriva distrugerii, furtului și manipulării inadecvate.

3 Etaloane itinerante

Trasabilitatea etalonului național la etalonul internațional se realizează prin preluarea periodică a unității de la BIPM, prin intermediul etaloanelor itinerante.

Până în anul 1995, etaloanele itinerante ale INM erau constituite din două grupuri de câte 4 elemente Weston. Transportul, manipularea, măsurarea acestora se făceau cu luarea unor precauții speciale, impuse de sensibilitatea deosebită a elementelor Weston la diverși factori.

În anul 1995, INM a achiziționat un etalon de tensiune electronic tip 732 B Fluke care, de atunci, este utilizat ca etalon itinerant.

Etalonul 732 B Fluke este de fapt o sursă calibrată de tensiune cu diode Zener, capabilă să furnizeze la cele două perechi de borne tensiuni etalon cu valoarea nominală de 10 V și 1,018 V. Acest model de sursă calibrată se folosește în mod uzual ca etalon itinerant, fiind mult mai adecvat pentru aceasta decât elementul Weston, deoarece este mult mai robust, rezistent la șocurile prilejuite de transport, mult mai puțin influențat de temperatura exterioară (fiind prevăzut cu termostatare interioară).

4 Utilizarea etalonului național

În vederea asigurării trasabilității etalonului național la etaloanele internaționale și a transmiterii corecte a unității de măsură la nivele de exactitate corespunzătoare, acesta este comparat periodic cu etalonul internațional de la Biroul Internațional de Măsuri și Greutăți (BIPM); de asemenea, în Institutul Național de Metrologie se efectuează anual studii de comportare în timp și caracterizare metrologică. Aceste studii constau, în principal, în determinarea valorii convențional adevărate a elementelor din grup, determinarea stabilității și calculul incertitudinii de etalonare.

Etalonul internațional de la BIPM este un etalon primar, fiind constituit dintr-o instalație bazată pe efectul Josephson care permite obținerea, la bornele unei joncțiuni Josephson, a unei tensiuni care este proporțională cu frecvența, prin intermediul unei constante fundamentale, $2e/h$ (e = valoarea absolută a sarcinii electronului, h = constanta lui Planck):

$$V = N\frac{h}{2e}f \qquad (1)$$

în care:

N numărul de ordine al treptei de curent la tensiune constantă, unde este polarizată tensiunea;

f frecvența câmpului magnetic [1].

Unitatea este preluată de la BIPM prin intermediul unui etalon itinerant electronic cu diode Zener, cu tensiunile de ieșire de 1,018 V și 10 V. De la etalonul itinerant, etalonat la BIPM, unitatea se transmite elementelor din componența grupului etalon național.

Măsurările se fac cu metoda diferențială, cu ajutorul unui compensator de curent continuu cu o rezoluție de 0,1 μV sau cu un nanovoltmetru cu rezoluție de 0,01 μV. Se măsoară diferența între tensiunea electromotoare a fiecărui element și tensiunea electromotoare a etalonului electronic Fluke 732 B la bornele de 1,018 V. Se efectuează cel puțin 10 cicluri de măsurare. Calculul valorii convențional adevărate și evaluarea incertitudinii de etalonare se face cu o metodă elaborată în INM [2] conform recomandărilor Documentului EAL-R2 [3].

Pentru calculul valorii elementelor etalon din componența grupului național, se folosește relația (2), stabilită în funcție de metoda și de condițiile de măsurare:

$$V_X = V_E + \overline{\Delta V} + \delta V_C + \delta V_{DE} + \delta V_R + \delta V_T \qquad (2)$$

în care:

V_E valoarea etalonului de referință, Fluke 732 B, la bornele de 1,018 V, atribuită la BIPM cu certificat de etalonare

$\Delta V = V_{XI} - V_{EI}$ diferența între valoarea elementului care se măsoară și elementul etalon, indicată de compensator. Valoarea $\overline{\Delta V}$ se calculează ca medie a valorilor obținute în n cicluri de măsurare:

$$\overline{\Delta V} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta V_i}{n} \qquad (3)$$

δV_C corecția indicațiilor compensatorului cu care s-au făcut măsurările

δV_{DE} corecție care exprimă modificarea valorii V_E de la ultima sa etalonare, datorită derivei în timp

δV_R corecție care exprimă influența unor instabilități ale rețelei asupra indicațiilor compensatorului

δV_T corecție care exprimă influența variației temperaturii ambiante asupra valorii elementului care se măsoară.

În intervalul dintre două etalonări la BIPM, în cadrul studiilor anuale privind comportarea în timp, atribuirea valorii elementelor din componența grupului etalon național se face prin compararea acestora față de valoarea medie a grupului, care se consideră că rămâne constantă între două comparări internaționale.

Metodologia de etalonare, elaborată după [4], se prezintă în cele ce urmează.

Cele 11 elemente din componența etalonului național se conectează pe rând în opoziție cu un element tară, iar la bornele de măsurare ale compensatorului (nanovoltmetrului) se măsoară diferențele dintre t.e.m. ale acestora pentru ambele sensuri ale curentului de măsurare. Se efectuează cel puțin 10 cicluri de măsurare.

Cu diferențele (valorile medii) între rezultatele a două măsurări consecutive se întocmește tabelul de mai jos:

Tabelul 1

	$-V_1$	$-V_2$	...	$-V_{11}$	ΔV_i
V_1	0	V_1-V_2	$V_1-\ldots$	V_1-V_{11}	ΔV_1
V_2	V_2-V_1	0	$V_2-\ldots$	V_2-V_{11}	ΔV_2
...	...	...	...	...	...
V_{11}	$V_{11}-V_1$	$V_{11}-V_2$	$V_{11}-\ldots$	0	ΔV_{11}

în care:

ΔV_i $(i = 1 \ldots 11)$ sunt abaterile valorilor elementelor i față de media grupului.

Aceste valori se obțin cu relațiile:

$$\Delta V_1 = \frac{(V_1 - V_2) + (V_1 - V_3) + \ldots + (V_1 - V_{11})}{11}$$

$$\Delta V_2 = \frac{(V_2 - V_1) + (V_2 - V_3) + \ldots + (V_2 - V_{11})}{11} \quad (4)$$

. . . . . .

$$\Delta V_{11} = \frac{(V_{11} - V_1) + (V_{11} - V_2) + \ldots + (V_{11} - V_{10})}{11}$$

Se efectuează cel puțin 10 cicluri de măsurare. Se obțin astfel cel puțin 10 abateri ale fiecărui element față de media grupului. Se face media acestor abateri.

Valoarea convențional adevărată a fiecărui element din grup se calculează cu relația:

$$V_X = V_E + \overline{\Delta V} + \delta V_C + \delta V_R \quad (5)$$

în care:

V_E valoarea medie a grupului etalon național din *Certificatul Etalonului Național*

$\overline{\Delta V}$ media diferențelor măsurate dintre valoarea individuală a elementului și media grupului; valoarea $\overline{\Delta V}$ se calculează ca medie a valorilor V obținute în n cicluri de măsurare:

$$\overline{\Delta V} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta V_i}{n} \quad (6)$$

δV_C corecția indicațiilor compensatorului cu care s-au făcut măsurările

δV_R corecție care exprimă influența unor instabilități ale rețelei asupra indicațiilor compensatorului

Fiecare din termenii relației (5) are contribuția sa la incertitudinea de etalonare a elementului V_X. În cele ce urmează vom arăta cum au fost evaluate contribuțiile termenilor din relația (5) la incertitudinea de măsurare a elementului V_X și cum a fost întocmit bugetul incertitudinii.

Valoarea etalonului V_E:

Această valoare este menținută constantă în cadrul temelor de cercetare privind atribuirea valorii elementelor din grupul etalon național. De la ultima atribuire a valorii din 1998 [5], aceasta este:

$$V_E = 1{,}018\ 634\ 4\ \text{V}$$

și este determinată cu o incertitudine standard compusă corespunzătoare unei distribuții de probabilitate normale u_C.

Incertitudinea standard corespunzătoare estimării mărimii V_E este:

$$u(V_E) = u_C . \quad (7)$$

Indicațiile compensatorului $\overline{\Delta V} = V_{XI} - V_{EI}$:

Valoarea $\overline{\Delta V}$ se obține pentru toate cele 11 elemente cu relația (6), deci distribuția de probabilitate este normală.

Contribuția acestui termen la incertitudinea de măsurare este o componentă de tip A și este egală cu abaterea standard experimentală a mediei:

$$u(\Delta V) = s_{\overline{\Delta V}} . \quad (8)$$

Tabelul 2

Bugetul incertitudinii:

Mărime X_i	Estimare x_i	Incertitudine standard $u(x_i)$	Distribuție de probabilitate	Coeficient de sensibilitate c_i	Incertitudine parțială $u_i(y)$
V_E	1,018 634 4 V	0,41 μV	normală	1	0,41 μV
$\overline{\Delta V}$	– 21,49 μV	0,01 μV	normală	1	0,01 μV
δV_C	0	0,005 μV	normală	1	0,005 μV
δV_R	0	0,04 μV	triunghiulară	1	0,04 μV
V_x	**1,018 612 91 V**				**0,41 μV**

Rezultate: $V_x = 1{,}018\,612\,9$ V, $u_C = 0{,}4$ μV, $U = 0{,}8$ μV.

Corecția indicațiilor compensatorului δV_C:
Corecția indicațiilor compensatorului se ia, în funcție de valoarea indicată de acesta pe decade, din certificatul său de etalonare. Incertitudinea de etalonare extinsă a compensatorului este $U(V_C)$ și se ia de asemenea din certificat.

Pentru o distribuție de probabilitate normală, incertitudinea standard introdusă de acest termen este:

$$u(\delta V_C) = U(V_C)/k\,. \qquad (9)$$

Instabilitatea rețelei δV_R:
Perturbațiile din rețeaua de alimentare pot produce o instabilitate a indicațiilor mijlocului de măsurare de ± 0,1 μV. Pentru o distribuție de probabilitate triunghiulară:

$$\delta V_R = 0 \qquad (10)$$

$$u(\delta V_R) = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}} \qquad (11)$$

în care:

$a = -0{,}1,\ b = +0{,}1,\ c = 0 \Rightarrow u(\delta V_R) = 0{,}04$ μV.

Incertitudinea standard compusă se calculează cu relația:

$$u_C(X) = \sqrt{\sum u_i^2\,(y)} \qquad (12)$$

Incertitudinea standard extinsă se calculează pentru un factor de acoperire $k = 2$, corespunzător unui nivel de încredere de ≈ 95%:

$$U(X) = k \times u_C(X) \qquad (13)$$

Folosind modul de calcul descris mai sus, se întocmește bugetul incertitudinii pentru toate elementele Weston din componența grupului etalon național.

În tabelul 2 este prezentat, ca exemplu, bugetul incertitudinii pentru unul din elementele Weston din componența grupului etalon național.

5 Grup de elemente Weston martor

Grupul etalon național este constituit din elemente cu o vechime foarte mare, a căror stabilitate în timp este influențată de un proces de îmbătrânire. De aceea, este posibil ca pe viitor unele elemente să nu mai corespundă exigențelor unui etalon național și să fie eliminate din grup.

În consecință, a fost constituit un grup martor de 23 elemente de tip saturat de 1,0186 V fabricate în INM, care sunt păstrate, conservate și urmărite în timp, pentru a fi folosite ca rezervă pentru elementele din componența grupului etalon național, atunci când va fi nevoie.

6 Concluzii

Cercetările efectuate în INM vizând comportarea în timp și caracterizarea metrologică a elementelor din componența etalonului național de tensiune electrică au avut ca urmare asigurarea transmiterii unității de tensiune cu o exactitate corespunzătoare pe plan național și la un nivel comparabil cu cel al laboratoarelor de metrologie din țările avansate.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Delahaye, F.*, Utilisation de l'effet Josephson pour la conservation du volt au LCIE, BULLETIN BNM, nr. 36, Avril 1979

[2] *Popovici, G., Dragomir, L.*, Intercompararea unor etaloane din domeniul mărimilor electrice. Metrologia, nr. 2/1999

[3] EAL-R2 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration

[4] *Dunn, A.F.*, Methods of Intercomparing a Group of Standards, National Research Council of Canada, Division of Applied Physics, Ottawa, 1961

[5] BRML – INM – Documentația etalonului național al unității de măsură ***volt (V)*** a tensiunii electrice în curent continuu.

Etalonul de referință de raport de tensiuni mici în curent alternativ de audiofrecvență al României

Florin MIREA *)

Abstract: *The paper describes the reference standard for low AC voltage ratio within the radiofrequency range, consisting in an inductive voltage divider with 10 sections with the nominal ratio of 0.1, as well as the absolute reference voltage method used in order to determine the voltage ratio. The measurement set-up is described and the sources of error in evaluating the measurement uncertainty are discussed.*

Résumé: *On décrie l'étalon de référence pour le rapport de tensions basses en courant alternatif de radiofréquence résidant en un diviseur inductif à 10 sections de rapport nominal 0,1 aussi que la méthode absolue de la tension de référence par laquelle on détermine la valeur du rapport de tensions. On décrie l'installation et on discute les sources d'erreurs en évaluant l'incertitude.*

1 Generalități

În practica măsurărilor electrice metodele de raport au căpătat o largă dezvoltare, acestea constituind baza multor aparate și instalații de măsurare cum ar fi:

- instalații de măsurare a raportului de transformare al transformatoarele de măsurare de tensiune și/sau de curent;
- punți Schering cu brațe inductive;
- tensometre de curent alternativ;
- comparatoare universale de curent alternativ,

cu exactități de până la 1×10^{-6} din valoarea raportului considerat.

Explicația constă în aceea că *dispozitivele inductive de raport* (care sunt bobine cuplate magnetic prin miezuri de mare permeabilitate) care materializează aceste metode au rapoartele de tensiune sau de curent dependente doar de numerele de spire ale înfășurărilor, fără a fi influențate de factorii de mediu. Domeniul de tensiune nominal se întinde până la 100 V, iar cel de frecvență până la 5 kHz. Până la introducerea etaloanelor bazate pe efect Hall, instalațiile etalon de atribuire a raportului de tensiune în curent alternativ au constituit cele mai precise metode de atribuire a valorii unității "unu" a raportului de tensiune în curent alternativ, exactitatea de comparare fiind (în cazul INM București) de ordinul (5 ... 20) 10^{-9} din valoarea raportului de tensiune.

Metoda de calibrare este recunoscută a fi una absolută, în sensul că nu folosește etaloane de precizie superioară raportului de tensiune căruia i se atribuie valoarea.

De aici rezultă că pentru atribuirea raportului de tensiune sunt necesare 2 elemente:

- divizorul inductiv etalon cu o decadă;
- instalația de atribuire a valorii raportului.

2 Divizorul inductiv de tensiune

Folosind ecuațiile generale ale cuadripolului (fig. 1), funcționarea dispozitivelor inductive de raport de tip diport poate fi modelată de ecuațiile de transfer de tipul:

$$u_1 = A\,u_2 + B\,i_2;$$
$$i_1 = C\,u_2 + D\,i_2;$$

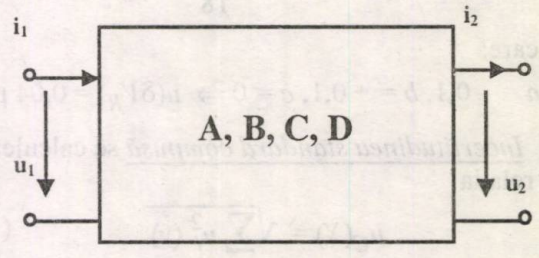


Fig. 1

În plus, dacă este satisfăcută condiția:

$$\left|\frac{u_1}{i_2}\right|_{u_2=0} = \left|-\frac{u_2}{i_1}\right|_{u_1=0}$$

cuadripolul este reciproc. Condiția de reciprocitate este:

*) Institutul Național de Metrologie, șos. Vitan Bârzești nr. 11, sector 4, București.

$$A\,D - B\,C = 1$$

În general, dispozitivele inductive de raport satisfac această condiție.

Divizorul inductiv cu o decadă tip Uld. 0 – 10 x 0,1 seria 8201, construit la INM este un autotransformator cu două trepte, cu 10 înfăşurări identice, bobinate uniform distribuit pe miezuri de mare permeabilitate. Înfăşurarea de premagnetizare este compusă din 170 spire, iar decada de raport de tensiune este formată din 10 secțiuni a câte 17 spire. Divizorul este prevăzut cu ecran electrostatic şi magnetic.

Principalele caracteristici ale divizorului inductiv cu o decadă sunt descrise sintetic mai jos:

- raport nominal de divizare 1:10;
- numărul rapoartelor de divizare: 10;
- domeniu nominal de frecvență: (60 ... 1600) Hz;
- tensiunea maximă admisibilă la intrare: $0{,}15\,f$ [V];
- variația anuală a raportului de divizare:
  - pentru eroarea de raport $< 5 \times 10^{-9}$;
  - pentru eroarea de unghi $< 20 \times 10^{-9}$;
- coeficient de temperatură al raportului de divizare: 1×10^{-9}/K;
- variația cu frecvența a raportului de divizare:
  $\pm 40 \times 10^{-9}$ pentru eroarea de raport;
  $\pm 600 \times 10^{-9}$ pentru eroarea de unghi;

Notă: Toate datele sunt valabile în domeniul de frecvență (50 ... 1600) Hz.

Impendanța de intrare este ridicată printr-o dozare corespunzătoare a numărului de spire, iar impedanța de ieşire depinde practic numai de numărul de spire.

Erorile divizoarelor inductive pot fi evaluate pornind de la valoarea raportului de divizare:

$$\frac{U_2}{U_1} = k + \alpha + j\beta$$

în care:

K raportul nominal de divizare;
α eroarea de raport;
β eroarea de unghi.

Sursele de erori ale divizoarelor sunt:

- inegalitatea rezistențelor celor 10 secțiuni;
- inegalitatea inductivităților de dispersie ale secțiunilor;
- capacitățile interne ale înfăşurărilor.

Dintre cele două componente, cea mai importantă este eroarea de raport. O evaluare a erorii de raport este dată de formula:

$$\alpha = \frac{\alpha_f\,\Delta R}{\varpi L_0} + \frac{\Delta\lambda}{L_0} + k\lambda C\,\varpi^2$$

în care:

α tangenta unghiului de pierderi magnetice în miez;
ΔR abaterea rezistenței unei secțiuni de la valoarea medie;
L_0 inductivitatea de intrare a divizorului;
λ inductivitatea medie de dispersie a unei secțiuni;
$\Delta\lambda$ abaterea inductivității de dispersie a unei secțiuni față de valoarea medie;
k coeficient adimensional ales în funcție de modul de înfăşurare;
C capacitatea medie între două secțiuni;
ω pulsația semnalului.

Primul termen reprezintă eroarea la frecvențe joase şi se poate minimiza la valori sub $0{,}1 \times 10^{-6}$ prin folosirea unor miezuri de permeabilitate magnetică ridicată combinată cu abateri de rezistență mici între secțiuni.

Al II-lea termen se minimizează printr-o bobinare îngrijită în sensul reducerii abaterii inductivității de dispersie la valori maxime de 1 ... 2 % între ele.

Al III-lea termen reprezintă eroarea la frecvențe ridicate datorată capacităților parazite dintre perechile celor 10 conductoare ale secțiunilor (din care rezultă existența a 55 capacități). Se remarcă prezența unei erori de raport negative la $K < 0{,}5$ datorată capacităților față de secțiunile inferioare şi o eroare de raport pozitivă pentru $K < 0{,}5$ datorată capacităților față de secțiunile superioare. Rezultă o curbă în S a divizorului inductiv etalon.

3 Instalația de atribuire a valorii raportului de tensiune

Etalonul național de raport de tensiuni mici în curent alternativ de audiofrecvență este comparat prin metoda absolută a tensiunii de referință concretizată în montajul prezentat schematic în fig. 2.

▪ ***Generatorul de semnal de audiofrecvență*** *G* este sursa de alimentare a montajului care are ca principale caracteristici:

- domeniu de frecvență: (20 ... 20 000) Hz
- domeniu de tensiune: (0 ... 120) V
- curent maxim de ieşire: minim 0,3 A

▪ ***Indicatorul de nul*** *IN* este elementul sensibil pe care se pune în evidență echilibrarea montajului. Este un dispozitiv electronic care are următoarele caracteristici:

- prag de sensibilitate: 50 nV;
- domeniu de frecvența: 20 Hz ... 20 kHz;
- filtru de intrare reglabil în domeniul (20 Hz ... 20 kHz);

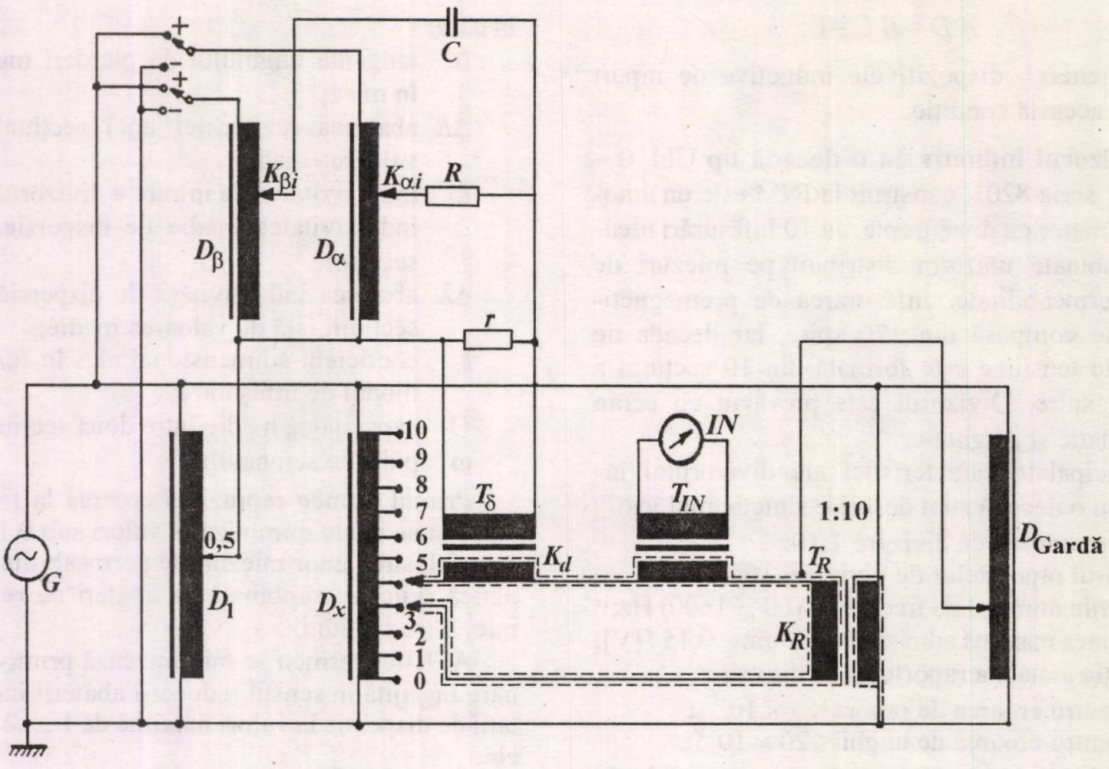


Fig. 2

– amplificare în buclă variabilă.

■ ***Transformatorul de referință*** T_R este un dispozitiv inductiv de raport cu două înfășurări separate galvanic, bobinat în două trepte pentru a minimiza erorile de raport și cele de unghi, și are ca principale caracteristici:

– raport nominal de transformare: 1:10;
– stabilitatea raportului de transformare este de ordinul 10^{-9};
– erorile nu depășesc 10^{-8} la frecvențe cuprinse între (60 ... 1 600) Hz. La frecvențe mai mari de 2 kHz se poate conta pe o stabilitate de 2×10^{-8} (la 8 kHz).

■ ***Transformatorul de injecție*** T_δ are raportul de divizare 1:50, fiind compus dintr-o înfășurare primară de 200 de spire și o înfășurare secundară de 4 spire bobinate coaxial, dispuse pe un miez toroidal.

■ ***Elementele de injecție*** Rezistoarele R și r (a se vedea fig. 2) sunt componente stabile și cu reactanță mică, iar condensatoarele C au o foarte ridicată stabilitate în timp (de ordinul 0,1 %) și tg δ foarte scăzută.

■ ***Dispozitivele inductive de raport*** D_α, D_β și D_G folosite pentru injecția curenților de compensare asigură:

– eroarea maximă a raportului de transformare: 1×10^{-6};
– tensiune maximă la intrare: 100 V;
– domeniu de frecvență: (50 Hz ... 10 kHz).

Metoda de măsurare constă în comparații succesive ale tensiunii celor 10 secțiuni nominale ale divizorului etalon național, o decadă cu tensinea secundară constantă a unui transformator de referință T_r având raportul de transformare nominal de 1:10 (v. fig. 2).

Rezultă astfel 10 ecuații pentru cele 11 necunoscute care intervin: cele 10 rapoarte de transformare ale divizorului D_x și raportul de transformare al transformatorului T_r. Pentru cea de-a 11-a ecuație se însumează cele 10 ecuații de mai sus.

Practic se opune fiecărei secțiuni a lui D_x tensiunea secundară a lui T_r. Tensiunea mică suplimentară pentru echilibrare se injectează prin intermediul transformatorului coborâtor T_δ.

Această tensiune este generată într-un circuit care conține divizorul de raport fix 0,5 și divizoarele inductive cu 4 decade D_α și D_β; curentul în fază prin rezistorul R precum și curentul în cuadratură prin condensatorul C compun pe rezistorul r o cădere de tensiune ajustată.

Pentru fiecare comparație a unei secțiuni a divizorului D_x, vom avea o relație:

$$U_i = K_r \times U + u_i \qquad (1)$$

în care:

U_i tensiunea între bornele secțiunii i a divizorului D_x;

U tensiunea totală aplicată de la generatorul G;

$K_r \cong 0,1$ raportul de transformare al tranformatorului T_r;

u_i tensiunea injectată.

Prin însumarea celor 10 relații individuale se va obține pentru toate secțiunile relația:

$$\sum_{i=1}^{10} U_i = U = 10 \times K_r \times U + \sum_{i=1}^{10} u_i \qquad (2)$$

Raportul care urmează să fie determinat este:

$$\frac{U_1}{U} = \frac{K_r \times U + u_1}{10 \times K_r \times U + \sum_{i=1}^{10} u_i} \cong$$

$$\cong \frac{1}{10}\left[1 + \frac{1}{K_r U}\left(u_1 - \frac{1}{10}\sum_{i=1}^{10} u_i\right)\right] \qquad (3)$$

întrucât termenul $\sum_{i=1}^{10} \frac{u_i}{10 \times K_r \times U} < 5 \times 10^{-6}$ și în consecință se poate neglija.

Tensiunea injectată u_i prin r, pentru o schemă ca cea din fig. 2, este:

$$u_i = \frac{1}{2} \times K_\delta \times$$

$$\times\left(K_{\alpha i} \times \frac{r}{R} + j \times K_{\beta i} \times r \times \omega \times C\right) \times U \qquad (4)$$

ținând seama că $r << R$ și $r << 1/C\omega$.

În relația (4), K_δ este raportul de transformare al transformatorului de injecție T_δ iar $K_{\alpha i}$ și $K_{\beta i}$ sunt rapoartele de divizare fixate pe comutatoarele D_α și D_β pentru comparații pe secțiunea i.

Pentru divizorul D_x vor rezulta următoarele corecții:

– corecția de raport de transformare:

$$D_\alpha = 0,1 \times \frac{K_\delta}{2 \times K_r} \times \frac{r}{R} \times \left(K_{\alpha 1} - \frac{1}{10} \times \sum_{i=1}^{10} K_{\alpha i}\right) \qquad (5)$$

– corecția de unghi:

$$D_\beta = 0,1 \times \frac{K_\delta}{2 \times K_r} \times r \times C \times \omega \times$$

$$\times\left(K_{\beta 1} - \frac{1}{10} \times \sum_{i=1}^{10} K_{\beta i}\right) \qquad (6)$$

Valorile numerice ale elementelor de circuit sunt:

$K_\delta = 0,02$;

$K_r = 0,1$;

$r/R = r \times C \times \omega = 0,001$;

Valorile D_α și D_β vor fi:

$$D_\alpha = 10^{-5} \times \left(K_{\alpha i} - \frac{1}{10} \times \sum_{i=1}^{10} K_{\alpha i}\right); \qquad (7)$$

$$D_\beta = 10^{-5} \times \left(K_{\beta i} - \frac{1}{10} \times \sum_{i=1}^{10} K_{\beta i}\right); \qquad (8)$$

Ordinul de mărime al celei mai semnificative cifre de pe decadă va fi de ordinul 10^{-6}.

3.1 *Rezultatele atribuirii valorii raportului de tensiune*

Ultima caracterizare metrologică s-a efectuat în următoarele condiții, în 1998, la frecvențele și tensiunile următoare:

10 V/60 Hz; 30V/400 Hz; 30V/1 kHz;

30 V/2 kHz ;

iar rezultatele obținute sunt:

– corecțiile D_α și D_β pe decadă au rezultat ca urmare a prelucrării statistice a unui șir de 10 determinări efectuate pentru fiecare frecvență în parte. S-a constatat o bună repetabilitate a măsurărilor, abaterea standard experimentală a mediei pe decadă fiind de maxim 2×10^{-9} pentru D_α la toate frecvențele, respectiv 5×10^{-9} pentru D_β la frecvențele 60 Hz, 400 Hz și 1 000 Hz; 11×10^{-9} la $f = 2\,000$ Hz. Incertitudinea combinată a atribuirii a fost sub 6×10^{-9} la toate frecvențele pentru D_α, iar pentru D_β 6×10^{-9} la $f = 400$ Hz și 1 kHz; 8×10^{-9} la $f = 60$ Hz și 11×10^{-9} la $f = 2$ kHz.

– corecțiile de raport și de unghi pentru raportul 0,1 au valori cuprinse între -3×10^{-9} și -19×10^{-9}, scăzând cu frecvența pentru D_α și -84×10^{-9} și 407×10^{-9}, crescând cu frecvența.

– variația în timp a raportului 0,1 al divizorului a fost de 15×10^{-9} pentru raport și 70×10^{-9} la unghi.

Tabelul 1

Erori de raport ($\times 10^{-9}$)

Frecvența/ secțiunea	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60 Hz	0	–0,019	–0,039	–0,078	–0,073	–0,041	–0,002	0,003	0,006	–0,005	0
400 Hz	0	–0,018	–0,023	–0,027	–0,026	–0,010	0,009	0,025	0,024	0,011	0
1000 Hz	0	–0,014	–0,016	–0,020	–0,015	–0,006	0,004	0,017	0,014	0,010	0
2000 Hz	0	–0,003	–0,004	–0,004	–0,002	–0,000	0,022	0,044	0,038	0,003	0

Tabelul 2

Erori de unghi ($\times 10^{-9}$)

Frecvența/ secțiunea	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60 Hz	0	0,016	–0,001	–0,005	–0,043	–0,049	–0,047	–0,064	–0,058	–0,04	0
400 Hz	0	–0,084	–0,114	–0,095	–0,055	–0,014	0,083	0,128	0,132	0,087	0
1000 Hz	0	0,216	0,303	0,274	0,171	0,012	–0,164	–0,276	–0,3	–0,207	0
2000 Hz	0	0,407	0,567	0,518	0,314	0,017	–0,317	–0,525	–0,566	–0,394	0

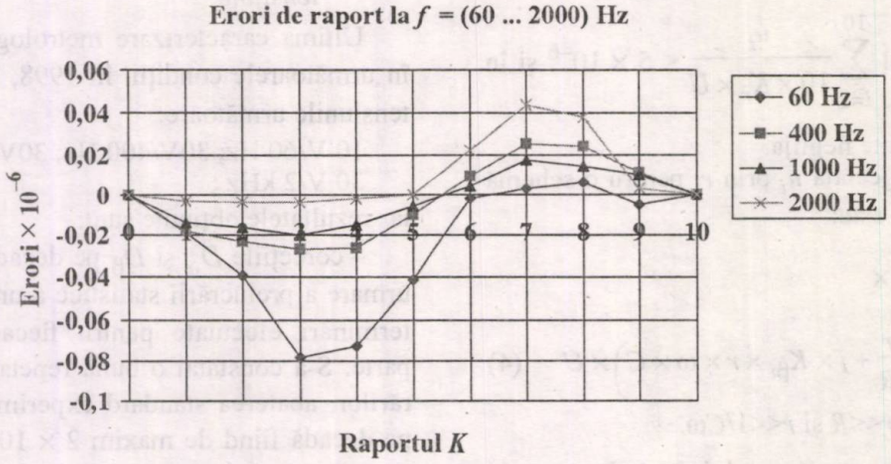


Fig. 3

Tabelul 3

Incertitudinea maximă pe decadă

Frecvența (Hz)	$u_{c\alpha} \times 10^{-9}$	$u_{c\beta} \times 10^{-9}$
60	5,3	8,1
400	5,3	5,9
1000	5,1	6,0
2000	5,3	11,4

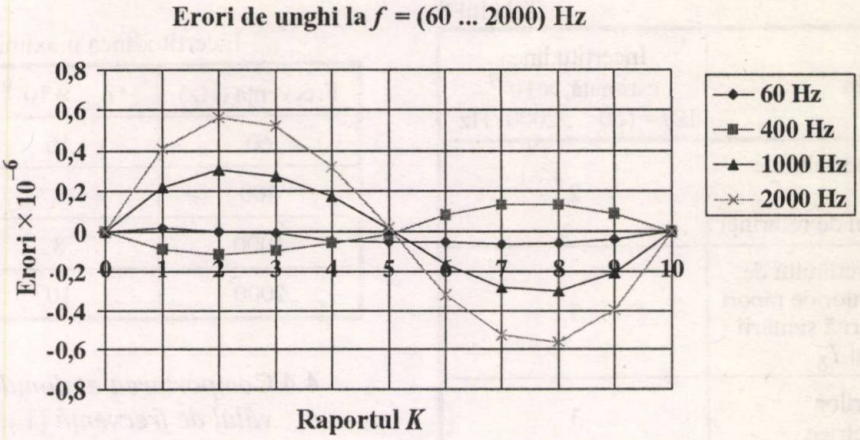


Fig. 4

Tabelul 4

Frecvența/ secțiunea	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60 Hz	0	–0,019	–0,039	–0,078	–0,073	–0,041	–0,002	0,003	0,006	–0,005	0
400 Hz	0	–0,018	–0,023	–0,027	–0,026	–0,01	0,009	0,025	0,024	0,011	0
1000 Hz	0	–0,014	–0,016	–0,02	–0,015	–0,006	0,004	0,017	0,014	0,01	0
2000 Hz	0	–0,003	–0,004	–0,004	–0,002	0,000	0,022	0,044	0,038	0,003	0

Tabelul 5

Frecvența/ secțiunea	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60 Hz	0	0,016	–0,001	–0,005	–0,043	–0,049	–0,047	–0,064	–0,058	–0,04	0
400 Hz	0	–0,084	–0,114	–0,095	–0,055	–0,014	0,083	0,128	0,132	0,087	0
1000 Hz	0	0,216	0,303	0,274	0,171	0,012	–0,164	–0,276	–0,300	–0,207	0
2000 Hz	0	0,407	0,567	0,518	0,314	0,017	–0,317	–0,525	–0,566	–0,394	0

4 Incertitudinea de atribuire a valorii unității "unu" de raport de tensiuni mici în curent alternativ de audiofrecvență

Eroarea raportului de tensiune are o incertitudine compusă u_c rezultată din atribuirea corecțiilor de raport și respectiv de unghi, proprii fiecărei frecvențe de etalonare, determinată în conformitate cu documentele EAL-R2, după cum sunt descrise în capitolele următoare.

4.1 *Incertitudinea de tip A*

În tabelele 6 și 7 sunt reprezentați parametrii estimați pentru o repartiție normală determinată dintr-un șir de 10 determinări ale erorilor de raport și de unghi, pentru fiecare secțiune de raport nominal 0,1, la fiecare din frecvențele de etalonare.

Tabelul 6

f[Hz]	60	400	1000	2000
Valori $s_{0\alpha} \times 10^{-9}$				+
U_c	9,4	7,1	6,4	9,4

Tabelul 7

f[Hz]	60	400	1000	2000
Valori $s_{0\beta} \times 10^{-9}$				+
U_c	11,2	18,7	12,0	19,6

4.2 *Incertitudinea de tip B*

Sursele de erori ale instalației sunt prezentate în tabelul 8.

Tabelul 8

Cauza	Incertitudinea estimată, $\times 10^{-9}$ la $f = (60 \ldots 2000)$ Hz
Instabilitatea raportului de transformare al transformatorului de referință	2
Neliniaritatea circuitului de injecție a corecțiilor de raport și de unghi, datorită șuntării transformatorului T_δ	3
Influența câmpurilor magnetice și electrice	3
Insensibilitatea indicatorului de nul	2
Incertitudinea standard de tip B u_B	5

4.3 *Incertitudinea compusă*

Incertitudinea compusă rezultată din compunerea pătratică a celor două componente ale incertitudinii este prezentată în tabelul 9.

Tabelul 9

Incertitudinea maximă pe decadă

Frecvența (Hz)	$u_{c\alpha} \times 10^{-9}$	$u_{c\beta} \times 10^{-9}$
60	10	12
400	9	19
1000	8	13
2000	10	20

4.4 *Comportarea etalonului național în intervalul de frecvență* (1 ... 20) kHz

Studiul comportării etalonului național în intervalul de frecvență (1 ... 20) kHz a dus la obținerea corecțiilor din tabelele 10 și 11.

4.5 *Evaluarea de tip A a incertitudinii standard*

În tabelul 12 se găsesc valorile abaterii standard experimentale a mediei, aferentă decadei, pentru fiecare frecvență. În tabelul 13 sunt date abaterile standard experimentale ale mediei, corespunzătoare fiecărei secțiuni a divizorului.

Tabelul 10

Corecții de raport ($\times 10^{-6}$)

Frecvența/ secțiunea	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 kHz	0	0,010	0,008	0,0010	0,002	–0,003	–0,008	–0,014	–0,012	–0,008	–0,000
5 kHz	0	0,147	0,189	0,208	0,153	0,028	–0,097	–0,209	–0,186	–0,137	–0,000
10 kHz	0	0,661	0,914	1,040	0,658	0,191	–0,266	–0,689	–0,627	–0,482	–0,000
15 kHz	0	1,563	2,196	2,485	1,653	0,617	0,421	–1,382	–1,289	–1,022	–0,000
20 kHz	0	2,531	3,580	4,097	2,833	1,227	–0,412	–1,950	–1,841	–1,477	0,000

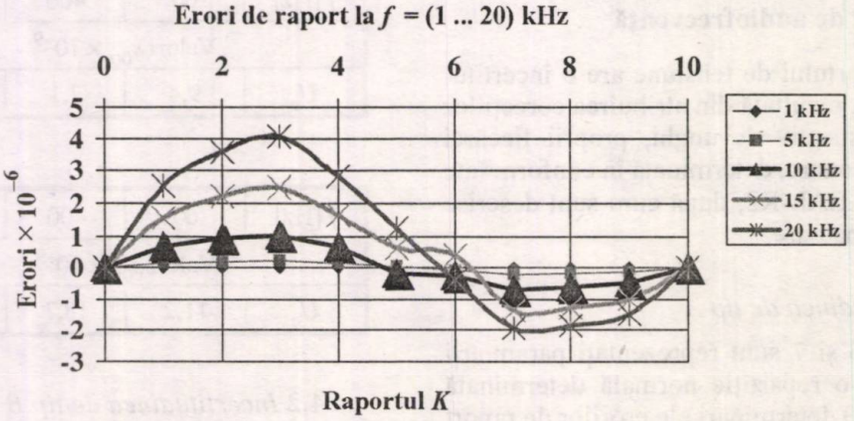


Fig. 5

Tabelul 11

Corecții de unghi ($\times 10^{-6}$)

Frecvența/ secțiunea	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 kHz	0	–0,213	–0,303	–0,277	–0,193	–0,029	0,137	0,254	0,282	0,197	0
5 kHz	0	–0,914	–1,326	–1,206	–0,859	–0,183	0,703	1,157	1,246	0,845	0
10 kHz	0	–3,120	–4,407	–3,936	–2,205	0,246	2,652	4,342	4,653	3,263	0
15 kHz	0	–3,157	–4,337	–3,876	–2,178	0,310	2,762	4,463	4,728	3,322	0
20 kHz	0	–2,213	–3,047	–2,763	–1,442	0,248	1,922	–3,080	–3,219	–2,265	0

Erori de unghi la f = (1 ... 20) kHz

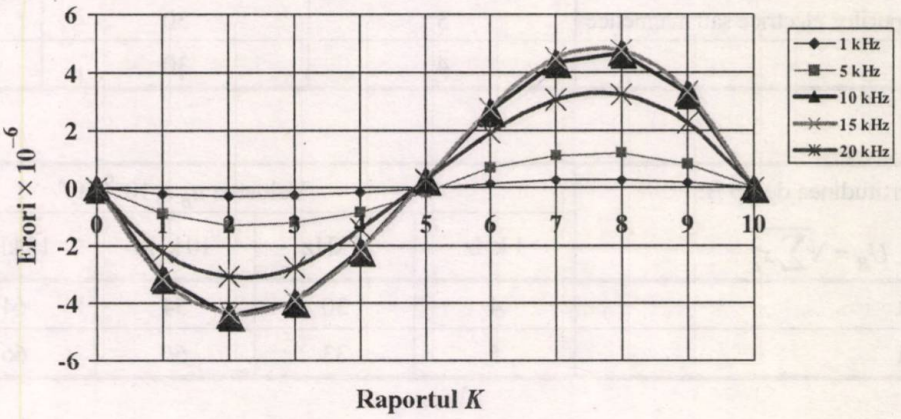


Fig. 6

Tabelul 12

Abaterea standard experimentală a mediei pe decadă

Frecvența	Secțiunea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 kHz	$s_{0\alpha} \times 10^{-9}$	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0
	$s_{0\beta} \times 10^{-9}$	1	2	3	6	5	4	3	2	1	0
5 kHz	$s_{0\alpha} \times 10^{-9}$	5	8	12	22	19	16	14	10	6	0
	$s_{0\beta} \times 10^{-9}$	41	56	48	24	43	68	12	79	43	0
10 kHz	$s_{0\alpha} \times 10^{-9}$	2	4	5	6	6	8	9	6	4	0
	$s_{0\beta} \times 10^{-9}$	11	37	36	31	6	21	16	17	10	0
15 kHz	$s_{0\alpha} \times 10^{-9}$	6	8	12	9	10	13	13	7	3	0
	$s_{0\beta} \times 10^{-9}$	10	12	42	40	38	34	34	21	10	0
20 kHz	$s_{0\alpha} \times 10^{-9}$	6	8	12	10	12	17	11	11	11	0
	$s_{0\beta} \times 10^{-9}$	3	35	48	81	84	76	39	24	13	0

Tabelul 13

Abaterea standard experimentală a mediei pe secțiunea cu variantă maximă

Frecvența	Secțiunea	$s_{0\alpha}\times10^{-9}$	Secțiunea	$s_{0\beta}\times10^{-9}$
1 kHz	7	2	4	9
5 kHz	4	34	10	70
10 kHz	10	6	1	28
15 kHz	1	28	1	17
20 kHz	3	46	1	18

Tabelul 14

Sursa	Valoarea $u_B \times 10^{-9}$ la $f=$		
	1 kHz	5 kHz	(10...20)kHz
Insensibilitatea indicatorului de nul	2	3	5
Influența câmpurilor electrice sau magnetice	3	30	50
u_c'	4	30	50

Tabelul 15

Incertitudinea de tip B: $U_B=\sqrt{\sum x_i^2}$	Valoarea $u_B \times 10^{-9}$ la $f=$				
	1 kHz	5 kHz	10 kHz	15 kHz	20 kHz
Erori de raport	4	30	54	64	78
Erori de unghi	5	33	66	66	58

4.6 *Evaluarea de tip B a incertitudinii standard*

În baza formulelor ce exprimă erorile de raport și de unghi:

$$D_\alpha = 0{,}1\times\frac{K_\delta}{2\times K_r}\times\frac{r}{R}\times\left(K_{\alpha 1}-\frac{1}{10}\times\sum_{i=1}^{10}K_{\alpha i}\right)$$

$$D_\beta = 0{,}1\times\frac{K_\delta}{2\times K_r}\times r\times C\times\omega\times$$

$$\times\left(K_{\beta 1}-\frac{1}{10}\times\sum_{i=1}^{10}K_{\beta i}\right)$$

Surse de incertitudini și evaluarea lor sunt date în tabelul 14.

Incertitudinea de tip B va rezulta prin compunerea pătratică a valorii din tabelul 15.

4.7 *Determinarea incertitudinii standard combinate* u_c

Incertitudinea standard combinată u_c (incertitudine la nivel 1σ) a rezultat din evaluările de tip A și de tip B ale incertitudinii standard, prezentate mai sus, aplicând formula:

$$u_c=\sqrt{s_0^2+u_B^2}$$

În tabelul 16 este dată valoarea lui u_c pentru secțiunea lui D_x cu varianta maximă.

Tabelul 16

Frecvența (Hz)	$u_{c\alpha}\times10^{-9}$	$u_{0\beta}\times10^{-9}$
1 000	8	10
5 000	45	77
10 000	54	72
15 000	70	68
20 000	91	61

BIBLIOGRAFIE

[1] Documentația etalonului de referință de raport de tensiuni mici în curent alternativ de audiofrecvență

[2] *A. Millea, Măsurări Electrice. Ed. Tehnică București 1980*

[3] EAL R2 Expresion of Uncertaintz in Calibration

Etalonul național de capacitate electrică al României

Armine CARANFILIAN *)
Cheti RADU *)
Anca Elena NESTOR *)

Abstract: *The paper describes the C + F(R,f) methode and the apparatus, developed at INM, used to derive the unit for electric capacity based on the units for electric resistance and frequency which are traceable to BIPM. The national standrd for electric capacity built at INM is presented, the main sorces of uncertainties are discussed and the type A and type B evaluation of the measure ment uncertainty are specified.*

Résumé: *L'article décrie la méthode C = F(R,f) et l'installation réalisée à l'INM avec lesquelles on déduit l'unité de capacité électrique à partir des unités de résistance électrique et de fréquence qui sont traçable à BIPM. On présente l'étalon national de capacité électrique construit à l'INM. On décrie les principalles sources d'incertitude et on spécifie les évaluations de type A et B pour l'incertitude.*

1 Introducere

În România, unitatea de capacitate electrică, (faradul legal), este derivată din unitățile de rezistență electrică și de frecvență, preluate de la BIPM.

Acest mod de obținere a unității de capacitate electrică, mai puțin uzual pe plan mondial, a fost introdus în Institutul Național de Metrologie încă din anul 1967. Bazate pe acastă metodă [1], utilizată, se pare, pentru prima dată în România, s-au dezvoltat mai multe generații de instalații de determinare a capacității în funcție de rezistență și frecvență (pe scurt, instalație $C(R,f)$), sub forma unei punți Wien din elemente distincte, de exactitate relativ modestă (50 ppm) și mai târziu, prin constituirea în institut a unei familii de punți în cuadratură cu dublă echilibrare $C(R,f)$, care prezenta mai multe elemente de noutate pe plan mondial, mai întâi realizate tot din elemente componente independente și în final, în 1981, sub forma unei instalații de sine stătătoare [2].

2 Descrierea instalației $C(R,f)$

Schema de principiu a instalației $C(R,f)$ realizate este reprezentată în figura 1. Se observă că este o punte *capacitate-rezistență* ale cărei elemente principale sunt condensatoarele C_1 și C_2 și rezistoarele R_1 și R_2. De asemenea, în circuitul punții apar: sursa de alimentare cu transformatorul de raport TR_1, indicatoarele de nul IN_1 și IN_2 și circuitul de defazare la 90°.

O particularitate foarte importantă a schemei este posibilitatea de conectare cuadripolară a rezistoarelor punții. În acest fel, o parte din rezistențele conexiunilor sunt transferate în serie cu sursa de alimentare sau cu indicatorul de nul, astfel că efectul lor este eliminat complet. Restul rezistențelor de conexiune sunt transferate pe celelalte două brațe ale punții, constituite din reactanțe capacitive care rămân în conexiune dipolară. Rezistențele de conexiune transferate în serie cu ele nu afectează capacitatea, ci numai tangenta unghiului lor de perderi, producând astfel efecte de ordinul II, complet neglijabile.

O a doua particularitate a schemei din figura 1 este realizarea tensiunilor de alimentare defazate cu 180°, al căror raport este cunoscut cu o exactitate foarte ridicată, [3]. Diminuarea disimetriilor tensiunilor de intrare ce apar din cauza inegalității impedanțelor pe partea lui R_1 și pe partea lui C_2 este rezolvată prin adăugarea a două circuite repetoare RT_1 și RT_2, care asigură o funcționare practic în gol a transformatorului.

*) Institutul Național de Metrologie, șos. Vitan Bârzești nr. 11, sector 4, București.

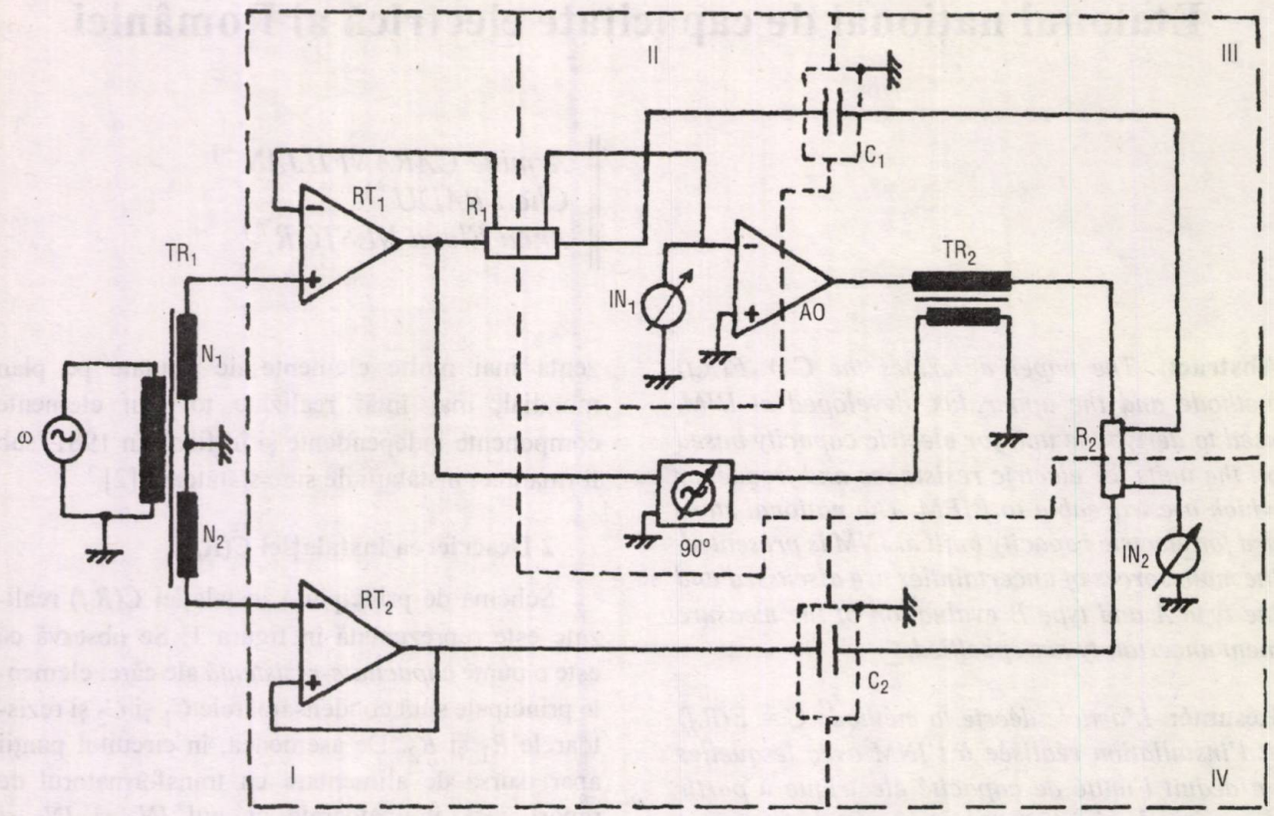


Fig. 1. Schema de principiu a instalației $C(R,f)$

Al treilea element distinctiv al schemei este modul de obținere a tensiunii defazate la 90°. Din cauza amplificării finite a amplificatorului operațional, pentru a putea menține la intrarea acestuia o tensiune neglijabilă și, implicit a realiza echilibrul la IN_1, se folosește o metodă combinată: astfel, amplificatorul operațional furnizează grosier tensiunea la 90° necesară, menținând aproape de echilibru IN_2, iar echilibrul fin este obținut manual, prin injectarea unei tensiuni suplimentare, până la aducerea la zero a lui IN_2. Această funcțiune este realizată de circuitul notat în schemă 90° și de transformatorul TR_2.

Întregul montaj este realizat în condiții de completă ecranare electrostatică. De aceea, C_1 și C_2 sunt în conexiune tripolară și R_1 și R_2 în conexiune pentapolară. Ambele indicatoare de nul au câte un punct la masă, ca și generatorul de alimentare.

Transformatorul TR_1 este prevăzut cu un ansamblu special de ecrane electrostatice, care elimină practic complet orice curent capacitiv perturbator ce ar putea circula pe căi distincte de circuitul principal al punții. Cele două înfășurări secundare ale transformatorului TR_1 formează raportul $N_1/N_2 = 2/5$.

Instalația $C(R,f)$, concepută în sistem modular, conține următoarele blocuri:

– oscilator cu cuarț, cu frecvență variabilă în trepte și fin;

– amplificator de putere cu distorsiuni reduse, care furnizează un semnal de maxim 30 V;

– punte în cuadratură cu dublă echilibrare $C(R,f)$ cu etaloane de rezistență R_1 și R_2 conectabile pentapolar din exterior ;

– transformator de raport de tensiune pentru comparații de capacitate în trepte 1:1 și 1:10;

– indicatoare de nul;

– frecvențmetru.

Modulele instalației și principalele caracteristici tehnice și metrologice ale elementelor acestora sunt:

a) Puntea $C(R,f)$

■ rezistoarele R_1 și R_2

– valoare nominală: 10 kΩ;

- valoare adevărată, atribuită în curent continuu cu o incertitudine compusă de 1×10^{-6};
- coeficient de temperatură: $1{,}3 \times 10^{-6}$/°C;
- instabilitate maximă a valorii rezistenței: 25×10^{-6}/an;
- diferențe c.c.-c.a.: max. $0{,}1 \times 10^{-6}$;
- putere nominală: 0,1 W;

■ circuitele de injecție a unor curenți suplimentari reglabili decadic pentru echilibrarea punții în trepte cu rezoluție 10^{-7}

■ transformatorul de tensiune și repetoarele de tensiune

- raport de divizare 2/5, atribuit cu o incertitudine de 5×10^{-8}, [3];

■ circuitul de generare a tensiunii defazate cu 90°, cu posibilitate de corecție manuală brută și fină a acesteia

b) Oscilatorul ω

- cuarț netermostatat cu frecvența nominală 10 MHz;
- stabilitate pe termen scurt a frecvenței: 1×10^{-7} ;
- variație fină a frecvenței cuarțului: $\pm 0{,}7 \times \times 10^{-4} f$;
- divizarea frecvenței etalonului în limitele: f/ (9910 ... 9949);
- tensiunea sinusoidală la ieșirea oscilatorului: 3 V;

c) Transformatorul de raport pentru comparații în trepte a capacității

- rapoarte nominale: 1: 1 și 1:10;
- exactitatea rapoartelor de divizare: $\pm 0{,}2 \times \times 10^{-6}$;

d) Indicatoarele de nul

- selective 1 kHz;
- impedanța de intrare: 100 MΩ;
- pragul de sensibilitate: 20 nV;

e) Condensatoarele etalon de comparat C_1 și C_2

- valoarea nominală: 10 nF;
- dielectric aer;
- coeficient de temperatură: 5×10^{-6}/°C;
- instabilitate maximă a valorii capacității: 100×10^{-6} / an;
- tg $\delta \leq 100 \times 10^{-6}$;
- tensiunea maximă de lucru: 500 V;

f) Amplificatorul de putere

- tensiune sinusoidală la ieșire: max. 40 V;
- coeficient de distorsiuni în sarcină rezistivă: < 0,02 %;

g) Periodmetrul

- rezoluție: 10^{-8};
- stabilitate a frecvenței afișate: 1×10^{-7} / 24 h;

Ecuația de echilibru a punții este:

$$\omega^2 R_1 R_2 C_1 C_2 = 0{,}4 \qquad (1)$$

sau:

$$C_0 = \frac{\sqrt{10}}{10 \times \pi \times f_0 \times R_0} \quad \text{(F)} \qquad (2)$$

unde:

$$C_0 = \frac{C_1 + C_2}{2} \quad \text{(F)} \qquad (3)$$

$$R_0 = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (\Omega) \qquad (4)$$

iar

f_0 (Hz) este frecvența de echilibrare a punții, dedusă pe baza indicației periodmetrului.

Transformatorul de raport 1:1 și 1:10 servește la compararea în raport 1:1 și 1:10 a unor condensatoare etalon având valorile de 10 nF, 1 nF, 100 pF și 10 pF; astfel, se deduce capacitatea etalonului național (10 pF) din capacitatea (10 nF) determinată prin metoda $C(R,f)$. Etaloanele de trecere folosite sunt etaloane secundare cu dielectric aer.

Etalonul național de capacitate electrică [4], este constituit dintr-un grup de trei condensatoare cu dielectric cuarț topit, de construcție proprie (în 1972). Principalele caracteristici ale acestor etaloane sunt:

- capacitatea nominală: 10 pF
- tangenta unghiului de pierderi: max. 25×10^{-6}
- coeficientul de temperatură: 18×10^{-6}/°C
- tensiunea de etalonare: 30 V ± 5 V
- capacități parțiale față de masă: max. 30 pF.

Condiționarea la temperatura de etalonare de 23 °C a etaloanelor comparate în cadrul atribuirii descrise mai sus se realizează cu ajutorul unui ultratermostat cu aer, care menține temperatura cu ± 0,02 °C.

3 Evaluarea incertitudinii de măsurare

Incertitudinea de atribuire a valorii capacității etalonului național se determină pe baza incertitudinilor de tip A și de tip B estimate în mod corespunzător.

Incertitudinea de tip A se evaluează prin prelucrarea statistică a unor şiruri de măsurări repetate efectuate în condiţii practic identice sub forma abaterii standard experimentale a valorii medii a fiecărui condensator şi a mediei grupului de condensatoare.

Incertitudinea de tip B cuprinde atât componentele datorate surselor de erori sistematice ale instalaţiei cât şi pe cele provenite din surse de incertitudini aleatoare nedeterminabile, evaluabile statistic.

O evaluare de tip B a incertitudinii standard are în vedere incertitudinile de etalonare ale etaloanelor instalaţiei şi este prezentată în tabelul 1.

Alte surse de erori ale instalaţiei conduc la estimarea prezentată în tabelul 2.

lor ponderate ale estimaţiilor mărimilor de intrare ce decurg din modelarea măsurării efectuate în cadrul atribuirii valorii capacităţii electrice prin metoda $C = F(R,f)$ şi folosind configuraţia descrisă mai sus. Aplicarea recomandărilor EAL-R2 privind constituirea unui bilanţ de incertitudini pe baza acestei modelări va face obiectul unei lucrări viitoare.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Millea, A., Ilie, P.*, A class of quadrature bridges for the intercomparison of three terminal resistance, inductance and capacitance standards, Metrologia, Vol. 5, No. 1, 1969, p. 14-20

[2] Realizarea instalaţiei pentru atribuirea valorii capacităţii electrice în funcţie de rezistenţă electrică şi de frecvenţă, Studiu INM, Bucureşti, 1981.

Tabelul 1

Sursa de incertitudini	Incertitudini parţiale $\times 10^{-6}$
Rezistoarele R_1, R_2	1,0
Oscilatorul ω	0,1
Ansamblul transformator repetor de tensiune al punţii	0,11
Transformatorul de comparaţie compensat electronic	0,2

Incertitudinea estimată $u_1 = 1{,}03$

Tabelul 2

Sursa de incertitudini	Incertitudini parţiale $\times 10^{-6}$
Sensibilitatea insuficientă a indicatorului de nul	0,05
Efecte de modulaţie încrucişate datorate armonicilor	0,02
Instabilitatea elementelor punţii	0,05
Cuplaje inductive parazite	0,25
Diferenţe c.c. - c.a. la R	0,05
Variaţii cu temperatura	0,4

Incertitudinea estimată $u_2 = \sqrt{\sum a^2}/3 = 0{,}28$

Rezultă $u_B = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 1{,}1 \times 10^{-6}$.

Incertitudinea standard compusă u_c se evaluează în urma compunerii pătratice a incertitudini-

[3] *Johanssen, E., Millea, A.*, Comparaţii internaţionale de divizoare inductive de tensiune cu o eroare sub 5×10^{-9}, Metrologia Aplicată, Nr. 1, 1976, p. 18-22

[4] Documentaţia etalonului naţional de capacitate electrică al României – INM Bucureşti

Măsurarea tensiunii alternative prin comparare c.a.-c.c. Utilizarea termocuplurilor în vid pentru măsurarea valorii eficace a tensiunii alternative la f = 20 Hz ... 100 kHz

Elvira BUZAC *)

Abstract: *The types of thermoelectric cells, which are used to measure the RMS value of the AC voltage, within the interval f = 20 Hz ... 20 kHz, are presented, this being the most accurate measurement method for AC voltage. The dissemination of the unit for AC voltage from INM to the thermoelectric cells of the Republic of Moldova is described. The evaluation of the expanded uncertainty U and the average error e (ppm) between the two standards are discussed.*

Résumé: *On présente les types des cellules thermoélectriques utilisées pour le mesurage de la valeur efficace de tension alternative dans l'intervalle f = 20 Hz ... 100 kHz qui représente la plus exacte méthode de mesurage pour la tension électrique alternative. On décrie aussi la dissemi nation de l'unité de tension alternative de l'étalon de l'INM aux cellules thermoélectriques de la Republique Moldavie. On discute l'évaluation de l'incertitude étandue U et l'erreur moyenne e (ppm) entre les deux étalons.*

Măsurarea cu mare precizie a tensiunii alternative şi a curentului alternativ se poate face prin comparare cu mărimea corespunzătoare în curent continuu, observând egalitatea efectelor termice, electrodinamice sau altele, asupra unui element sensibil la aceste efecte.

Metoda se numeşte comparare c.a. – c.c. sau transfer c.a. – c.c., elementul sensibil se numeşte element de transfer c.a. – c.c., iar aparatul bazat pe această metodă este un comparator c.a. – c.c.

Comparatoarele c.a. – c.c. se utilizează numai în măsurările de laborator, servind de obicei ca etaloane de transfer de cea mai înaltă exactitate.

*) Institutul Naţional de Metrologie, şos. Vitan Bârzeşti nr. 11, sector 4, Bucureşti.

După parametrul la care este sensibil elementul de transfer c.a. – c.c., se deosebesc comparatoare c.a. – c.c. de valoare eficace, de valoare medie şi de valoare de vârf. Comparatoarele c.a. – c.c. de valoare medie se folosesc rar, iar cele de valoare de vârf au aplicaţii limitate.

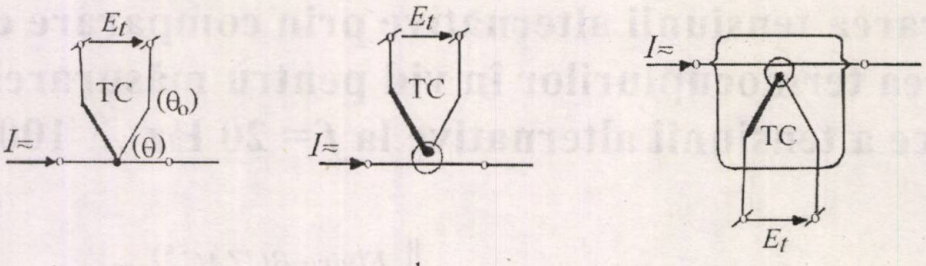
Elementele de transfer c.a. – c.c. de valoare eficace utilizate cel mai frecvent sunt cele electrotermice şi cele electromecanice.

Elementele de transfer c.a. – c.c. electrotermice sunt bazate pe faptul că un conductor parcurs de un curent alternativ ajunge, în regim termic staţionar, la o temperatură medie egală cu cea produsă de un curent continuu, de valoare egală cu valoarea eficace a curentului alternativ.

Elementele de transfer c.a. – c.c. electrotermice folosesc un termoelement cu încălzire indirectă, în vid [1]. Termoelementele sunt dispozitive constituite dintr-un fir încălzitor prin care trece curentul de măsurat şi un termocuplu alcătuit din două fire din metale diferite, sudate la un capăt, cu sudura caldă plasată direct pe firul încălzitor (cu contact), în mijlocul geometric al acestuia, pentru a se păstra aceeaşi constantă de transmisie a căldurii, (fig.1-*a*), sau fixată în imediata vecinătate a acestuia (fără contact), cu ajutorul unei perle din material refractar, de diametru mic (0,1 mm), care asigură o izolare electrică corespunzătoare, (fig.1-*b*).

Firul încălzitor este realizat dintr-un conductor cu rezistivitate mare, punct de topire ridicat şi coeficient mic de variaţie cu temperatura: constantan, crom - nichel, platin - iridiu, wolfram ş.a.

Termocuplul este constituit din fire de metale diferite sudate la un capăt: fier-constantan, platin-platin rhodiu ş.a.



a b c

Fig. 1 Termoelemente
a – cu contact; *b* – fără contact; *c* – în vid

La trecerea prin firul încălzitor, de rezistență R, a unui curent electric continuu sau alternativ, I, căldura dezvoltată prin efect Joule – Lenz încălzește sudura termocuplului și între capetele reci ale acestuia apare o tensiune continuă, denumită tensiune termoelectromotoare (t.t.e.m.), care este proporțională cu diferența de temperatură, $\Delta\theta$, dintre punctul de sudură încălzit și capetele reci ale termocuplului. Deoarece încălzirea depinde de puterea disipată în firul încălzitor ($P = RI^2$), t.t.e.m. produsă de termoelement este:

$$E_t = k_1 = k_2 RI^2 = KI^2 \qquad (1)$$

Prin urmare, t.t.e.m. este proporțională cu pătratul curentului continuu sau cu pătratul valorii eficace a curentului alternativ care trece prin firul încălzitor [1].

Pentru a crește sensibilitatea (prin reducerea pierderilor de căldură), termoelementele se introduc într-un balon de sticlă vidat, (fig.1-*c*), ceea ce duce la o creștere a sensibilității termoelementului de 10 ... 20 ori față de sensibilitatea termoelementelor cu răcire în aer.

Principalele erori ale elementelor de transfer c.a. – c.c. termoelectrice sunt erorile de polaritate și erorile de impedanță.

Erorile de polaritate se manifestă în curent continuu și sunt datorate efectelor Thomson și Peltier, care au ca rezultat o repartiție diferită a temperaturii încălzitorului, în funcție de polaritatea curentului. Aceste erori sunt la cele mai bune termocupluri de ordinul 0,01%. Ele pot fi micșorate prin repetarea măsurării în c.c. cu curenți în ambele sensuri și medierea rezultatelor.

Erorile de impedanță care apar în cazul elementelor de transfer c.a. – c.c. termoelectrice se manifestă la frecvențe înalte și provin din inductivitatea și capacitatea parazită a sistemului, pierderi dielectrice în perla izolatoare a termocuplului etc. Aceste erori sunt neglijabile până la o frecvență limită, care poate ajunge la (10 ... 100) MHz în cazul unor termocupluri de construcție specială, crescând rapid peste această frecvență. O îmbunătățire considerabilă a performanțelor acestor elemente de transfer a adus-o construcția termocuplurilor multijoncțiune. Printr-o tehnologie specială s-a reușit realizarea a peste 200 joncțiuni de metale diferite în serie, ceea ce permite creșterea sensibilității (tensiune nominală de ieșire 100 mV). Erorile de transfer ale acestor termocupluri sunt de ordinul 1 ppm pentru frecvențe până la 10 kHz [2]. În concluzie, aparatele care conțin elemente de transfer c.a. – c.c. termoelectrice sunt aparate cu o sensibilitate ridicată, care pot măsura valoarea efectivă a mărimii alternative de intrare, indiferent de forma de undă.

Ca neajunsuri menționăm:

- capacitatea redusă la suprasarcină; peste $(1{,}2\ldots1{,}5)I_n$ aparatele termoelectrice se distrug;
- consum propriu ridicat datorită prezenței încălzitorului;
- indicațiile aparatului sunt influențate de variația temperaturii mediului;
- timpul de răspuns relativ mare datorită inerției aparatului (2...5 sec.)

Laboratorul Mărimi electrice din Institutul Național de Metrologie deține capete termoelectrice de măsurare de înaltă exactitate, care se utilizează pentru transmiterea directă a unității de măsură a tensiunii electrice în curent alternativ, $U = (1\ldots1000)$V și $f = (0{,}020\ldots100)$kHz.

Un exemplu în acest sens este utilizarea capetelor termoelectrice de măsurare pentru transmiterea directă a unității de măsură a tensiunii electrice în curent alternativ la capetele termoelectrice de măsurare ale R. Moldova.

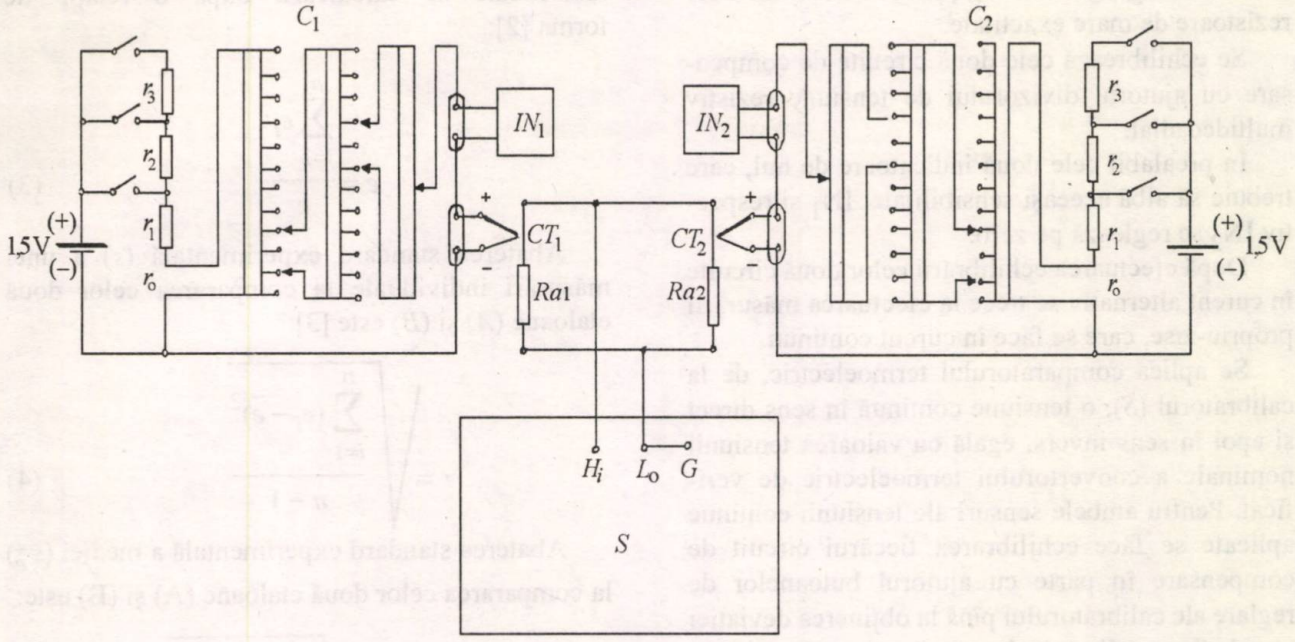


Fig. 2 Schema de transmitere directă a unității de măsură a tensiunii electrice în curent alternativ, la capetele termoelectrice de măsurare ale R. Moldova
(U = (1...1000) V; f = (20 Hz...100) kHz)

IN_1; IN_2 – indicator de nul de curent continuu tip UIN_c 5 cu sensibilitate de 10 μV, seriile: 8601; 8602;

CT_1 – convertor termoelectric etalon (etalonul A):

CTU-1 seria: 9001,

U_n = 1 V; f = 10 Hz ... 100 kHz

CTU-2 seria: 9002,

U_n = 2 V; f = 10 Hz ... 100 kHz

în montaj cu rezistențe adiționale tip:

R_a1, U=(3...6)V, R=0,8 kΩ, seria 7801;
R_a2, U=(10...20)V, R=3.6 kΩ, seria 7802;
R_a3, U=(30...60)V, R=12 kΩ, seria 7803;
R_a4, U=(100...200)V, R=40 kΩ, seria 7804;
R_a5, U=(300...600)V, R=120 kΩ, seria 8405;
R_a8, U=1000V, R=4 × 100 Ω, seria 7809;

CT_2 – convertor termoelectric de verificat (etalonul B):

ПНТЭ-6А, seria 317/1985,

U_n = 1 V; f = 20 Hz ... 100 kHz;

ПНТЭ-6А, seria 317/1985,

U_n = 3 V; f = 20 Hz ... 100 kHz;

ПНТЭ-6А, seria 317/1985,

U_n = 10 V; f = 20 Hz ... 100 kHz;

ПН-1-12, seria 27/1986,

U_n = 30 V; f = 20 Hz ... 100 kHz;

ПН-1-2, seria 27/1986,

U_n = 1V+РД-1-4, R_n = 34,8kΩ,
U_n = 100V, f = 20 Hz ... 100 kHz;

ПН-1-2, seria 27/1986,

U_n = 1V+РД-1-7, R_n = 104,6kΩ,
U_n = 300V, f = 20 Hz ... 100 kHz;

ПН-1-2, seria 27/1986,

U_n = 1V+РД-2, R_n = 330kΩ,
U_n = 1000V, f = 20 Hz ... 100 kHz;

C_1; C_2 – circuite de compensare de c.c. cu divizor Kelvin - Varley

S – sursa calibrată de tensiune și curent continuu și alternativ, fabricație Fluke SUA, tip 5720 A, seria 6690202, cu amplificator tip 5725 A, seria 6695005

U = 2,2 mV ... 1100 V

Se aplică comparatorului termoelectric c.a. – c.c., de la calibratorul (S), valoarea nominală a tensiunii alternative a convertorului termoelectric de verificat. Prin fiecare din cele două termoelemente T_1 și T_2, va trece un curent, I_1 respectiv I_2, care va determina o tensiune termoelectromotoare în fiecare dintre ele: E_{t1} respectiv E_{t2}.

Metoda compensării constă în măsurarea tensiunii continue printr-un procedeu de zero, echilibrând tensiunea de măsurat U_x cu o tensiune

cunoscută U_e, egală cu U_x, prin intermediunl unor rezistoare de mare exactitate.

Se echilibrează cele două circuite de compensare cu ajutorul divizorului de tensiune rezistiv multidecadial.

În prealabil cele două indicatoare de nul, care trebuie să aibă aceeaşi sensibilitate, IN_1 şi respectiv IN_2 se reglează pe zero.

După efectuarea echilibrării celor două circuite în curent alternativ se trece la efectuarea măsurării propriu-zise, care se face în curent continuu.

Se aplică comparatorului termoelectric, de la calibratorul (S), o tensiune continuă în sens direct şi apoi în sens invers, egală cu valoarea tensiunii nominale a convertorului termoelectric de verificat. Pentru ambele sensuri ale tensiunii continue aplicate se face echilibrarea fiecărui circuit de compensare în parte cu ajutorul butoanelor de reglare ale calibratorului pînă la obţinerea deviaţiei zero la fiecare din cele două indicatoare de nul, IN_1 respectiv IN_2.

După echilibrarea circuitelor de compensare de c.c., C_1, respectiv C_2 se notează cele două valori ale tensiunii continue, obţinute pentru fiecare din cele două convertoare termoelectrice în parte, alimentate în sens direct şi apoi în sens invers.

U_{de}, U_{ie} – valorile tensiunii continue obţinute la alimentarea în sens direct şi respectiv în sens invers a convertorului termoelectric etalon (etalonul A)

U_{dv}, U_{iv} – valorile tensiunii continue obţinute la alimentarea în sens direct şi respectiv în sens invers a convertorului termoelectric de verificat (etalonul B)

$U_e = \frac{U_{de} + U_{ie}}{2}$ – valoarea adevărată a tensiunii alternative indicată de etalonul (A)

$U_v = \frac{U_{dv} + U_{iv}}{2}$ – valoarea adevărată a tensiunii alternative indicată de etalonul (B)

Eroarea raportată dintre valorile indicate ale etaloanelor (A) şi (B) are expresia matematică:

$$e = \frac{U_v - U_e}{U_e} \times 10^6 \text{ (ppm)} \qquad (2)$$

Eroarea medie dintre valorile etalonului (A) şi (B), corespunzatoare unui număr n de măsurări individuale se calculează după o relaţie de forma [2]:

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^{n} e_i}{n} \qquad (3)$$

Abaterea standard experimentală (s) a unei măsurări individuale la compararea celor două etaloane (A) şi (B) este [3]:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (e_i - \bar{e})^2}{n-1}} \qquad (4)$$

Abaterea standard experimentală a mediei ($s_{\bar{e}}$) la compararea celor două etaloane (A) şi (B) este:

$$s_{\bar{e}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (e_i - \bar{e})^2}{n(n-1)}} \qquad (5)$$

Ca rezultat al estimării erorilor aleatoare prin repetarea măsurărilor, se ajunge la determinarea unei incertitudini standard de tip A, [$u_{(A)} = s_{\bar{e}}$], iar ca urmare a erorilor sistematice se apreciază o altă incertitudine, denumită incertitudine standard de tip B:

$$u_{(B)} = \sqrt{u_{1(B)}^2 + u_{2(B)}^2 + \ldots + u_{n(B)}^2}$$

unde $u_{1(B)}$, $u_{2(B)}$ ... $u_{n(B)}$ reprezintă incertitudini standard parţiale de tip B.

Incertitudinea standard compusă se calculează cu relaţia:

$$u_c = \sqrt{u_{(A)}^2 + u_{(B)}^2} \qquad (6)$$

Incertitudinea extinsă se obţine înmulţind incertitudinea standard compusă, u_c, cu un factor de amplificare k:

$$U = k \times u_c \qquad (7)$$

$k = 2$ pentru un nivel de încredere $P = 0{,}95$
$k = 3$ pentru un nivel de încredere $P = 0{,}99$

De exemplu la compararea celor două etaloane: CTU-1 seria: 9001, $U_n = 1$ V; $f = 10$ Hz ... 100 kHz (România) şi ПНТЭ-6А, seria 317/1985, $U_n = 1$ V; $f = 20$ Hz ... 100 kHz (R. Moldova) se obţin următoarele rezultate (tabelul 1):

Tabelul 1

R. Moldova					România					e_i (ppm)	$\bar{e}$ (ppm)	$s_{\bar{e}}$ (ppm)
Cap de măsurare termo-electric	Frecvența (kHz)	U_{direct}	U_{invers}	U_v	Cap de măsurare termo-electric	Frecvența (kHz)	U_{direct}	U_{invers}	U_e			
IIHT9-6A U_n = 1V seria: 317/1985	0,020	0,999993	1,000035	1,000014	CTU-1 U_n = 1V seria: 9001	0,020	0,999993	0,999945	0,999969	45,00140	29,5	11,1
		1,000012	1,000045	1,000029			1,000012	0,999945	0,999979	50,00108		
		1,000012	1,000022	1,000017			1,000020	1,000029	1,000025	–7,49982		
		1,000022	1,000012	1,000017			0,999992	0,999952	0,999972	45,00126		
		0,999992	1,000012	1,000002			1,000012	0,999962	0,999987	15,00020		
	1	1,000000	0,999980	0,99999		1	1,000040	0,999980	1,00001	–19,99980	–6,9	8,6
		0,999990	0,999990	0,99999			1,000040	0,999950	0,999995	–5,000030		
		1,000000	1,000010	1,000005			1,000000	1,000010	1,000005	0		
		1,000010	1,000016	1,000013			1,000070	1,000016	1,000043	–29,99870		
		1,000016	0,999996	1,000006			1,000006	0,999966	0,999986	20,00028		
	10	0,999953	0,999973	0,999963		10	1,000003	1,000004	1,000004	–40,49990	–33,5	11,5
		0,999952	1,000000	0,999976			1,000042	0,999970	1,000006	–29,99980		
		0,999970	1,000000	0,999985			1,000020	0,999960	0,99999	–5,000050		
		0,999970	0,999990	0,99998			1,000018	0,999980	0,999999	–19		
		1,000000	0,999942	0,999971			1,000050	1,000038	1,000044	–72,99680		
	100	0,999729	0,999739	0,999734		100	0,999880	0,999750	0,999815	–81,01500	–38,7	12,3
		0,999728	0,999748	0,999738			0,999808	0,999738	0,999773	–35,00790		
		0,999758	0,999738	0,999748			0,999818	0,999738	0,999778	–30,00670		
		0,999768	0,999733	0,999751			0,999813	0,999773	0,999793	–42,50880		
		0,999763	0,999753	0,999758			0,999803	0,999723	0,999763	–5,001190		

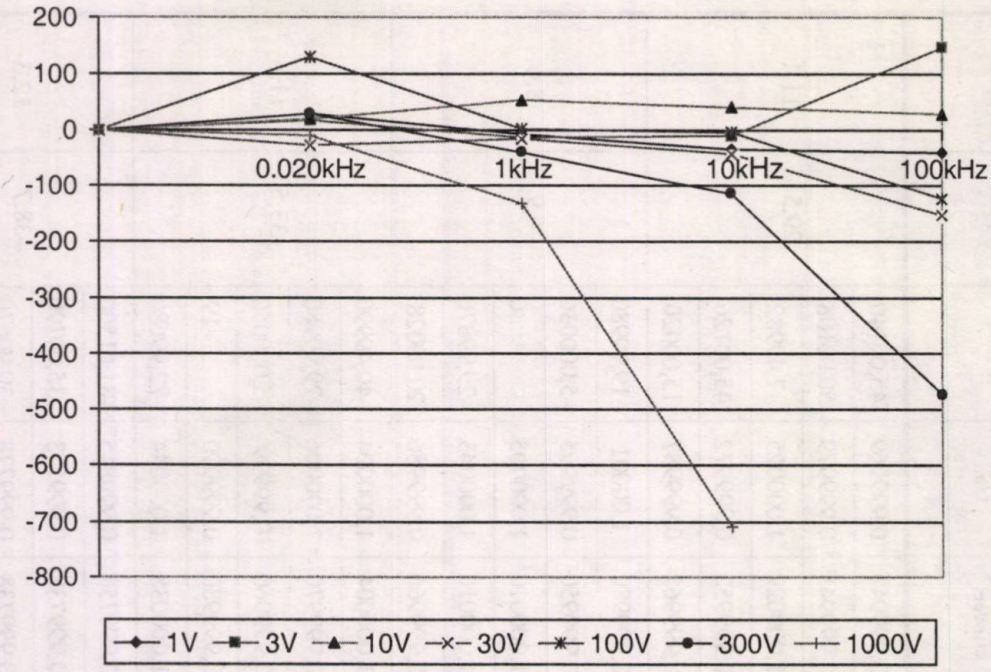


Fig.3 Reprezentarea grafică a erorii medii, $\bar{e}$ (ppm), dintre etalonul (A) şi etalonul (B), corespunzătoare unui număr n de măsurări (n = 5), pentru U = 1 V;3 V;10 V;30 V;100 V;300 V;1000 V şi f = (0,020; 1; 10; 100) kHz

$u_{(A)} = s_{\bar{e}}$ – incertitudinea standard de tip A

$u_{1(B)} = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{10 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}}$ – incertitudinea standard de tip B datorată instabilităţii indicatorului de nul folosit la compararea celor două etaloane (A) şi (B)

$u_{2(B)} = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{10 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}}$ – incertitudinea standard de tip B datorată instabilităţii circuitului de compensare folosit la compararea celor două etaloane (A) şi (B), [4]

$$u_{(B)} = \sqrt{u_{1(B)}^2 + u_{2(B)}^2} = 8{,}2 \text{ ppm}$$

Incertitudinea standard compusă se calculează cu relaţia (pentru f = 1 kHz):

$$u_c = \sqrt{u_{(A)}^2 + u_{(B)}^2} = 11{,}9 \text{ ppm}$$

Incertitudinea extinsă:

$$U = k \times u_c \qquad k = 2$$

pentru un nivel de încredere P = 0,95

$$U = 2 \times 11{,}9 = 23{,}8 \text{ ppm}$$

Rezultatul final al etalonării va fi:

$$e = \bar{e} \pm U = 29{,}5 \pm 23{,}8 \text{ ppm}$$

BIBLIOGRAFIE:

[1] *Iliescu, C., Golovanov, C., Szabo, W., Szekely, I., Barbulescu, D.*, Măsurari electrice şi electronice, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti,1983

[2] *Millea, A.*, Măsurari electrice, Principii şi metode, Editura Tehnică, Bucureşti

[3] EAL-R2, Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration

[4] BRML-INM, Documentaţia etalonului naţional a unităţii de măsură "volt" (V) a tensiunii electrice în curent alternativ

[5] SR 13251/aprilie 1996, Vocabular internaţional de termeni fundamentali şi generali în metrologie.

Problematica etalonării/verificării instalațiilor de verificat contoare de energie electrică

Ioana ODOR *)
Marcel BUTNARU *)

Abstract: *The paper presents the evolution of the testing equipment for watt-hour meters, as well as the new calibration possibilities existing at the National Institute of Metrology (INM).*

Résumé: *L'article présente l'evolution des installations d'essai pour les compteurs d'énergie électrique aussi que les nouvelles possibilités d'étalonnement qui existent à l'Institut National de Métrologie (INM).*

Instalațiile de verificat contoare de energie electrică sunt instalații etalon destinate transmiterii unității de măsură de energie electrică în c.a. la contoarele de inducție sau electronice, utilizate ca mijloace de măsurare etalon sau de lucru în domeniul de interes public al măsurării energiei electrice furnizate sau consumate.

Metodele de verificare/etalonare metrologică a contoarelor de energie electrică, pentru care sunt construite aceste instalații, sunt în principiu următoarele:

- metoda putere - timp;
- metoda contorului etalon.

Până în anii '80 instalațiile de verificat contoare [1], [2] din dotarea laboratoarelor de metrologie din România erau prevăzute cu transformatoare de măsură și wattmetre, ca etaloane pentru puterea electrică. Metoda clasică de verificare metrologică, cu ajutorul acestor instalații, a contoarelor de inducție este metoda numită putere-timp, care implică și utilizarea unui cronometru necesar măsurării timpului în care discul contorului, alimentat sub o anumită sarcină electrică, efectuează un număr de rotații prestabilit de verificator.

Dezvoltarea tehnicii de măsurare a energiei electrice prin metode electronice a permis realizarea unor instalații de verificat complexe, dotate cu transformatoare de măsură etalon și cu contoare electronice etalon. Aceste instalații sunt prevăzute cu sisteme de calcul al erorii care funcționează prin prelucrarea informației privind puterea electrică sub care se efectuează verificarea metrologică a contorului de verificat, informații obținute:

- fie prin metode optoelectronice cu ajutorul cărora se poate determina numărul de rotații la contorul de inducție de verificat,
- fie prin utilizarea unor circuite de numărare electronice, cu ajutorul cărora se determină numărul de impulsuri de ieșire, cu frecvența proporțională cu puterea, în cazul contoarelor electronice prevăzute cu ieșire în frecvență.

Câteva laboratoare de metrologie din țară au fost dotate cu astfel de instalații, printre care și laboratorul Mărimi Electrice din INM, care dispune din anul 1981 de instalația trifazată de verificat contoare de energie electrică tip Etalogyr 4000, prevăzută cu transformatoare de măsură etalon de curent, de tensiune și cu contor etalon electronic pentru energie electrică activă și reactivă.

Instalațiile vechi din dotarea laboratoarelor de metrologie au fost dotate în ultimii ani cu contoare etalon [3], [4], [5] și sisteme de calcul al erorii [6], [7].

Verificarea/etalonarea metrologică a instalațiilor de verificat contoare de energie electrică se efectuează în conformitate cu prevederile [8] și [9], după verificarea prealabilă în cadrul unui laborator de specialitate a etaloanelor din dotarea acestora, conform [10].

În ultimii ani dezvoltarea industriei electronice a permis realizarea unor contoare electronice cu intervale de curent și de tensiune largi care nu mai necesită utilizarea transformatoarelor de măsură ca

*) Institutul Național de Metrologie, șos. Vitan Bârzești nr. 11, sector 4, București.

etaloane în cadrul lanțului de măsurare din interiorul instalației [11], [12], [13], [14].

Au fost modernizate unele instalații prin dotarea cu etaloane de energie electrică de tip [11], [12] și cu sisteme de calcul al erorii [6], [7].

Instalații moderne, [15], [16], au fost achiziționate de CONEL în anul 1998 pentru dotarea laboratoarelor proprii de verificat contoare destinate decontării energiei electrice la marii și micii consumatori.

Erorile limită de măsurare, conform documentațiilor prezentate de constructori, pentru aceste instalații etalon sunt de ±0,05 % pentru cos φ = 1 și ±0,1 % pentru cos φ = 0,5.

În cadrul lucrărilor de încercări de model efectuate asupra acestor instalații, au fost evaluate incertitudinile standard de tip A [17], conform procedurii stabilite în documentul CEI 736, pentru puncte de funcționare alese de specialiștii Laboratorului Mărimi Electrice din I.N.M. în acord cu funizorul și constructorul acestor instalații.

Valorile obținute, pentru n =10 determinări, la evaluarea incertitudinii standard de tip A, în punctele de funcționare U_n = 240 V, I_n = 10 A, calculate conform [18], sunt următoarele:

cos φ	Abatere standard experimentală a mediei
1	0,0017 %
$0{,}5_{\text{inductiv}}$	0,0017 %

Aceste instalații vor fi utilizate la verificarea metrologică a contoarelor de energie electrică în conformitate cu [19].

Pentru verificarea metrologică a instalațiilor [15], [16] Institutul Național de Metrologie dispune de etaloane de fabricație specială [20], [21].

Contoarele etalon din dotarea noilor instalații de verificat contoare de energie electrică sunt etalonate în cadrul laboratoarelor I.N.M. cu ajutorul comparatorului digital analogic [21] și a unei surse trifazate electronice [22] complet comandate de un calculator compatibil I.B.M.

Verificarea instalațiilor din cadrul laboratoarelor metrologice ale CONEL se efectuează cu ajutorul etalonului portabil [20] conform prescripțiilor [8], [9].

Determinarea incertitudinii standard combinate pentru aceste instalații etalon constituie preocuparea actuală a specialiștilor din cadrul Laboratorului Mărimi Electrice și va reprezenta subiectul unui viitor articol din revista Metrologia.

BIBLIOGRAFIE

[1] Instalație trifazată de verificat contoare de energie electrică, tip Caligyr 8801

[2] Instalație trifazată de verificat contoare de energie electrică, tip Ganz

[3] Contor electronic etalon trifazat de energie electrică tip WEE3.1 (fabricație I.N.M.)

[4] Contor electronic etalon trifazat de energie electrică tip EHF-3 (fabricație Schlumberger – Ganz)

[5] Contor electronic etalon trifazat de energie electrică tip EHF-33 (fabricație Schlumberger – Ganz)

[6] Sistem de calcul al erorii contoarelor de energie electrică tipERRORREX (fabricație S.C. AEM S.A. – Timișoara)

[7] Sistem de calcul al erorii contoarelor de energie electrică tip APH (fabricație Schlumberger Industries, filiala Ganz Meter Company)

[8] NTM 4-39-90 Verificarea metrologică a instalațiilor de verificat contoare de energie electrică (Autor: R. Soviany, I.N.M.)

[9] CEI 736 Testing equipment for electrical energy meters

[10] NML 5-01-94 Contoare etalon de energie electrică (Autor al anteproiectului de NML: S. Niculescu, I.N.M.)

[11] Contor electronic etalon monofazat de energie electrică tip RM 10 (fabricație RADIAN – SUA)

[12] Contor electronic etalon trifazat de energie electrică tip SM 3050 (fabricație Schlumberger Ind.)

[13] Contor electronic etalon trifazat de energie electrică tip ES 2001/3 (fabricație EDI – Anglia)

[14] Contor electronic etalon trifazat de energie electrică tip D3000 (fabricație MTE – Elveția)

[15] Instalație trifazată pentru verificarea contoarelor de energie electrică prevăzută cu contor electronic etalon tip ES 2001/3 fabricație EDI – Anglia)

[16] Instalație trifazată pentru verificarea contoarelor de energie electrică prevăzută cu contor electronic etalon tip D3000 (fabricație MTE – Elveția și EMH – Germania)

[17] *A., Millea*, Evaluarea și exprimarea incertitudinii de măsurare. Noi abordări și reglementări.

[18] SR 13 434 Ghid pentru evaluarea și exprimarea incertitudinii de măsurare (Autori ai anteproiectului de SR: Gh. P. Ispășoiu, A. Millea, E. Bordescu)

[19] NML 5-02-97 Contoare de energie electrică activă (Autor al anteproiectului de NML: M. Butnaru, I.N.M.)

[20] Contor electronic etalon portabil trifazat de energie electrică tip PRS 200.3 AC (fabricație MTE)

[21] Comparator trifazat AC/DC tip KOM 200.3 (fabricație EMH – Germania)

[22] Sursă trifazată de putere tip SPE 100.3[1)] (fabricație EMH – Germania)

[1)] Comparatorul KOM 200.3 constituie o donație din partea P.T.B. pentru I.N.M.

Metodă de etalonare a rezistoarelor etalon de 10 000 Ω

Livia DRAGOMIR *)
Gelu POPOVICI *)

Abstract: *The paper presents a calibration method for the 10 000 Ω standard resistors, which was used at the Electric Quantities Labortatory of INM in an international comparison organized by Nederlands Meetinstituut – Van Swinden Laboratorium (NMiVSL). The evaluation of the measurement uncertainty in compliance with EAL – R2 document is described.*

Résumé: *L'article présente une méthode d'étalonnage pour les résisteurs de 10 000 Ω qui a été utilisée dans le Laboratoire des Grandeurs Électriques de l'INM à l'occasion d'une comparaison internationalle organisée par Nederlands Meetinstituut – Van Swinden Laboratorium (NMiVSL). On décrie l'évaluation de l'incertitude d'étalonnage conformément au document EALR2.*

1 Introducere

Acest articol este de fapt o continuare a articolului *Intercompararea unor etaloane din domeniul mărimilor electrice* apărut în revista *Metrologia* nr.2/99 [1]. Prezentam, în acel articol, lucrările efectuate de laboratorul Mărimi Electrice din Institutul Național de Metrologie (INM), în cadrul unei intercomparări de etaloane din domeniul mărimilor electrice organizată de Nederlands Meetinstituut Van Swinden Laboratorium (NMi-VSL). La intercomparare au participat laboratoare ale institutelor de metrologie din 13 țări central și est europene. În laboratorul nostru, lucrările s-au desfășurat în perioada 25-26 martie 1998, conform unui program [2] întocmit de către NMi-VSL și constau în etalonarea unui etalon de transfer de tensiune electrică, având valori nominale de 10 V și 1,018 V și a două rezistoare de valoare unică de 10 Ω și 10 000 Ω, ale căror caracteristici tehnice sunt date în tabelul 1.

Articolul menționat mai sus s-a referit la etalonarea etalonului de tensiune electronic bazat pe diode Zener tip 732 B Fluke: modul de lucru, montajul folosit, metoda de măsurare, calculul incertitudinii de măsurare, prelucrarea rezultatelor.

În cele ce urmează, vom prezenta lucrările efectuate pentru etalonarea rezistorului de 10 000 Ω, precum și modul de calcul a incertitudinii. În ceea ce privește rezistorul de 10 Ω, etalonarea acestuia s-a făcut cu un montaj diferit de cel folosit pentru etalonarea rezistorului de 10 000 Ω, dar incertitudinea a fost calculată într-un mod asemănător. De aceea, considerăm că prezentarea lucrărilor efectuate asupra rezistorului de 10 Ω nu este necesară.

Tabelul 1

Caracteristici tehnice principale ale rezistoarelor etalon

Tip	Valoare nominală (Ω)	Eroare tolerată (ppm)	Incertitudine de etalonare la 23°C (ppm)	Stabilitate (ppm)		Coeficient de temperatură (ppm/K)
				6 luni	12 luni	
9334/10	10	5,0	1,2	2,5	5	< 0,3
9334/10k	10 000	5,0	0,84	2,5	5	< 0,3

*) Institutul Național de Metrologie, șos. Vitan Bârzești nr. 11, sector 4, București.

2 Modul de lucru

Valoarea rezistenței rezistorului supus etalonării (R_X) a fost determinată prin substituție, utilizând ca etalon un rezistor de 10 000 Ω tip 742A-10k, fabricație Fluke, proprietate a INM, etalonat la PTB (certificat de etalonare PTB nr.1897/10.03. 1998), iar ca mijloc de măsurare o punte comparator cu brațe egale seria 8001, cu intervalul de măsurare de 10^4 Ω ... 10^9 Ω, construită în institut, cu indicator de nul Keithley 155 (figura 1). Rezistoarele au fost măsurate în aer, la temperatura de 20°C ± 0,5°C. Curentul de măsurare prin ambele rezistoare (R_E și R_X) a fost 1 mA.

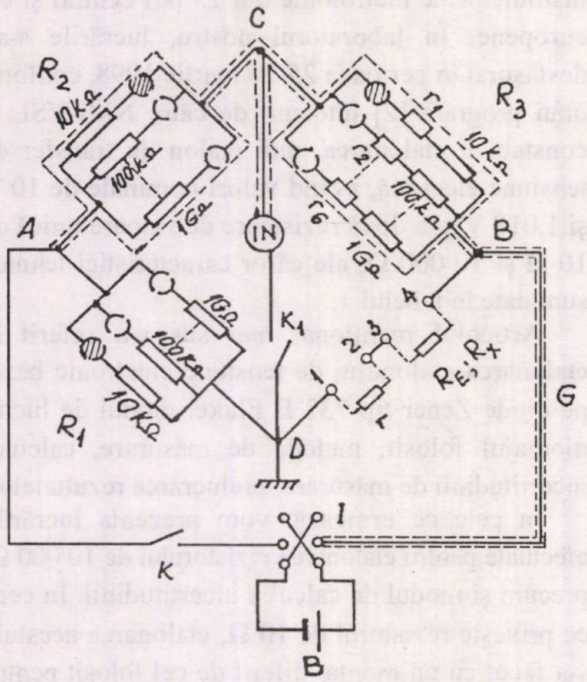


Fig.1 Schema de principiu a punții comparator cu brațe egale;
R_1, R_2, R_3, R_4 – brațele punții; IN – indicator de nul; R_E – rezistor etalon; r – rezistor de reglaj pentru echilibrarea punții; R_X – rezistorul care se măsoară; G – ecran.

Principiul de funcționare a punții comparator cu brațe egale este descris în [3].

Relația de determinare a valorii convențional adevărate a rezistorului de măsurat (R_X) prin metoda substituției, cu puntea comparator cu brațe egale [3] este:

$$R_X = R_E + (e - x) \qquad (1)$$

Prin aplicarea unor corecții determinate de condițiile de măsurare, relația (1) devine:

$$R_X = R_E + \delta R_D + \delta R_{TE} - \delta R_{TX} + \delta R_{2E} - \delta R_{2X} + (e - x) \qquad (2)$$

în care:

- R_X valoarea convențional adevărată a rezistorului supus etalonării
- R_E valoarea convențional adevărată a etalonului, din certificatul PTB
- δR_D deriva în timp a valorii etalonului de la ultima etalonare
- δR_{2E}, δR_{2X} abaterile valorii etalonului, respectiv rezistorului supus etalonării datorită conectării în circuitul de măsurare la 2 borne
- δR_{TE}, δR_{TX} abaterile valorii etalonului, respectiv rezistorului supus etalonării datorită variației temperaturii ambiante
- e valoarea rezistorului r obținută la echilibrul punții, atunci când la bornele 3 și 4 a fost conectat etalonul
- x valoarea rezistorului r obținută la echilibrul punții, atunci când la bornele 3 și 4 a fost conectat rezistorul supus etalonării.

Relația (2) a fost folosită de asemenea și la calculul incertitudinii de etalonare.

În cele ce urmează, vom descrie cum s-a folosit relația (2) pentru a determina valoarea convențional adevărată a rezistorului R_X, cum au fost evaluate contribuțiile termenilor din aceasta pentru a se determina incertitudinea de etalonare a mărimii R_X în conformitate cu recomandările documentului EAL - R2 [4] și cum a fost întocmit bugetul incertitudinii.

Rezistorul etalon R_E:

Valoarea convențional adevărată a etalonului (rezistorul seria 5885010) este:

$$R_E = 10.000{,}030\ \Omega$$

și a fost determinată la PTB la o temperatură de 20°C, cu o incertitudine de etalonare extinsă

$$U = 3 \times 10^{-7},$$

calculată pentru un factor de acoperire $k = 2$, corespunzător unui nivel de încredere de ≈ 95% (certificatul de etalonare PTB nr. 1897/10.03.1998). Este cazul unei distribuții de probabilitate normale. Incertitudinea standard estimată pentru termenul R_E, în cazul unei distribuții de probabilitate normale este:

$$u(R_E) = \frac{U}{k} = 1{,}5 \times 10^{-7}, \qquad (3)$$

ceea ce în unităţi de rezistenţă înseamnă 1,5 mΩ.

Deriva în timp a valorii etalonului δR_D:

Rezistorul seria 5885010 a fost cumpărat în anul 1994 pentru a fi utilizat ca etalon itinerant. Acest tip de rezistoare are un coeficient de temperatură foarte mic (sub 1×10^{-6}/K), în schimb prezintă o instabilitate a valorii în timp pronunţată. Prospectul acestui tip de rezistoare indică o variaţie anuală a valorii de $\approx 5 \times 10^{-6}$. De aceea este necesară studierea comportării valorii acestor rezistoare în timp.

Evoluţia valorii rezistorului seria 5885010, confirmată de etalonări internaţionale, este:

R_E = 10000,016 Ω – în urma etalonării la BIPM/05.01.1995

R_E = 10000,030 Ω – în urma etalonării la PTB/10.03.1998.

Aceasta înseamnă o creştere a valorii cu + 14 mΩ în 3 ani, adică + 0,05 mΩ în două săptămâni (perioada 10.03.98 – 25.03.98 de la ultima etalonare la PTB până la data prezentei lucrări). De aceea am estimat:

$$\delta R_D = 0 \qquad u(\delta R_D) = 0.$$

Distribuţia de probabilitate este rectangulară.

Corecţiile datorită variaţiei temperaturii δR_{TE}, δR_{TX}:

Măsurările s-au efectuat în aer, la o temperatură medie de 20,00°C, măsurată cu un termometru cu mercur cu rezoluţia de 0,01°C. Deci:

$$\delta R_{TE} = 0, \qquad \delta R_{TX} = 0.$$

Luând în consideraţie gradienţii de temperatură şi incertitudinea de etalonare a termometrului, am estimat o variaţie posibilă a temperaturii în intervalul ± 0,5°C.

Coeficienţii de temperatură ai rezistoarelor sunt:

$\alpha = 0{,}07 \times 10^{-6}$/K, pentru etalon

$\alpha < 0{,}3 \times 10^{-6}$/K, pentru rezistorul care se măsoară.

Adoptând o distribuţie de probabilitate rectangulară, incertitudinile standard se calculează cu relaţia:

$$u(\delta R_{TE}) = a/\sqrt{3} = 0{,}2 \text{ mΩ pentru etalon,} \qquad (4)$$

în care:

$$a = R_E \times \alpha \times 0{,}5 \qquad (5)$$

a = 10.000 Ω × 0,07 × 10^{-6}/K × 0,5 K = 0,35 mΩ,

şi:

$u(\delta R_{TX}) = a/\sqrt{3}$ = 0,87 mΩ pentru măsurand,

în care:

$a = R_X \times \alpha \times 0{,}5 =$
$= 10.000\ \Omega \times 0{,}3 \times 10^{-6}/\text{K} \times 0{,}5\ \text{K} = 1{,}5\ \text{m}\Omega.$

Corecţia datorită conectării cu 2 borne în circuitul de măsurare δR_{2E}, δR_{2X}:

Rezistoarele au fost conectate în circuitul de măsurare cu două borne, deoarece puntea comparator cu braţe egale are prevăzute două borne de măsurare şi nu este posibilă măsurarea cu 4 borne. De obicei însă, este indicat ca măsurarea rezistoarelor de 10 000 Ω să se facă cu 4 borne, deoarece există cazuri când rezistenţele legăturilor interne dintre bornele de curent şi cele de potenţial ale acestora au valori suficient de mari pentru a putea influenţa rezultatul măsurării. De aceea este necesară o corecţie la valoarea R_E a etalonului. De asemenea, trebuie corectată şi valoarea măsurandului.

Pentru a stabili corecţia care trebuie făcută, s-au măsurat rezistenţele legăturilor interne dintre bornele de curent şi cele de potenţial ale rezistoarelor. S-au obţinut rezultatele:

20 mΩ pentru rezistorul de fabricaţie Guildline (R_X)

12 mΩ pentru rezistorul de fabricaţie Fluke (R_E).

Aceste valori pot influenţa rezultatul măsurării, deci a apărut necesitatea aplicării unor corecţii (δR_{2E}, δR_{2X}). Pentru a micşora aceste corecţii s-au scurtcircuitat bornele de curent şi de potenţional ale celor două rezistoare cu bare a căror rezistenţă poate fi considerată practic egală cu zero.

Procedeul este reprezentat schematic în fig. 2, unde se poate vedea că această scurt-circuitare pune de fapt în paralel rezistoarele r_1, r_3 şi r_2, r_4. Deci corecţia datorită conectării la 2 borne va fi:

$$\delta R_{2E} = \frac{12}{2} = 6\ \text{m}\Omega, \qquad \delta R_{2X} = \frac{20}{2} = 10\ \text{m}\Omega,$$

cu o variaţie datorită incertitudinii de măsurare a legăturii dintre cele două borne estimată

$$a = \pm 2\ \text{m}\Omega.$$

Este cazul unei distribuții de probabilitate rectangulare și incertitudinea standard este dată de relația (4):

$$u(\delta R_{2E}) = u(\delta R_{2X}) = \frac{a}{\sqrt{3}} = 1{,}15 \text{ m}\Omega.$$

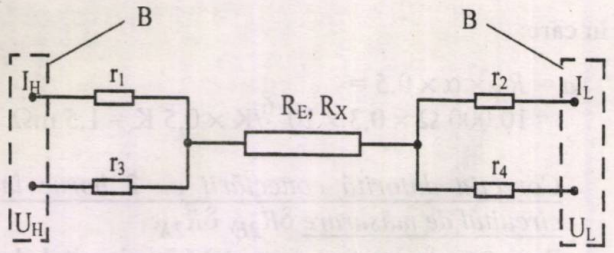


Fig. 2 Reprezentare schematică a scurtcircuitării bornelor rezistoarelor R_E și R_X;
$r_1 + r_3$, $r_2 + r_4$ – valoarea rezistenței dintre bornele de curent și bornele de potențial; I_H, I_L – bornele de curent; U_H, U_L – bornele de potențial; B – bare de scurtcicuitare.

Valorile măsurate ale rezistoarelor $(e - x) = r$:

Ambele rezistoare au fost măsurate cu același mijloc de măsurare și în aceleași condiții.

În urma efectuării a 8 cicluri de măsurare, valoarea medie a lui r este: $r = -41$ mΩ. Aici este cazul unei distribuții de probabilitate normale, iar incertitudinea corespunzătoare este egală cu abaterea standard a mediei, determinată cu relația:

$$u(r) = s_{\bar{r}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(r - \bar{r})^2}{n(n-1)}} = 0{,}35 \text{ m}\Omega. \qquad (6)$$

Incertitudinea standard compusă a fost calculată cu relația:

$$u_C(R_X) = \sqrt{\sum u_i^2}\,(y) = 2{,}4 \text{ m}\Omega. \qquad (7)$$

Incertitudinea standard extinsă s-a calculat pentru un factor de acoperire $k = 2$, corespunzător unui nivel de încredere de ≈ 95%:

$$U(R_X) = k \times u_C(R_X) = 5 \times 10^{-7}. \qquad (8)$$

Bugetul incertitudinii s-a întocmit cu toate datele determinate în acest capitol (tabelul 2).

Rezultatele obținute au fost raportate într-un certificat de etalonare astfel:

- valoarea convențional adevărată: 9 999,985 Ω
- incertitudinea de etalonare extinsă, pentru un factor de acoperire $k = 2$, ($P \approx 95\%$):

$$U = 5 \times 10^{-7}.$$

3 Rezultate

Rezultatele etalonărilor au fost consemnate în certificate de etalonare întocmite pentru cele trei etaloane și în trei rapoarte care descriu modul de lucru și calculul incertitudinii, așa cum am arătat la capitolul 2. Acestea au fost înmânate specialistului de la NMi care a asistat la lucrări.

Documentele de acest fel, elaborate de toate cele 13 laboratoare participante, au fost colectate la NMi unde, pe baza rezultatelor consemnate, s-a întocmit *Raportul final* [5], care a fost distribuit participanților. Raportul este confidențial, laboratoarele participante nefiind nominalizate, ci marcate cu un număr (de la 1 la 13).

Laboratorului nostru îi corespunde numărul 10.

Tabelul 2

Mărime X_i	Estimare x_i	Incertitudine standard $u(x_i)$	Distribuție de probabilitate	Coeficient de sensibilitate c_i	Incertitudine parțială $u_i(y)$
R_s	10 000,030 Ω	1,5 mΩ	normală	1	1,5 mW
δR_{TE}	0	0,2 mΩ	rectangulară	1	0,2 mW
δR_{TX}	0	0,9 mΩ	rectangulară	1	0,9 mW
δR_{2E}	0,006 Ω	1,15 mΩ	rectangulară	1	1,15 mW
δR_{2X}	0,010 Ω	1,15 mΩ	rectangulară	1	1,15 mW
$r = e - x$	– 0,041 Ω	0,35 mW	normală	1	0,35 mW
R_x	**9 999,985 Ω**				**2,4 mΩ**

Rezultatele etalonărilor au fost prelucrate şi prezentate în *Raportul final* sub formă de tabele şi reprezentări grafice.

Tabelul 3 prezintă rezultatele măsurărilor, sub forma abaterii valorilor de la valoarea nominală, efectuate în cele 13 laboratoare participante la intercomparare şi la laboratorul de referinţă (NMi), nominalizat cu simbolul *NL*.

În figura 3*a* sunt reprezentate grafic abaterile relative Δ ale rezultatelor obţinute în cele 13 laboratoare participante faţă de cele obţinute la NMi, calculate cu relaţia:

$$\Delta_{1\ \ldots\ 13} = \frac{R_{lab}(t) - R_{ref}(t)}{R_{nom}} \qquad (9)$$

în care:

$R_{lab}(t)$ valoarea convenţional adevărată a rezistenţei determinată în laboratorul participant, la momentul t

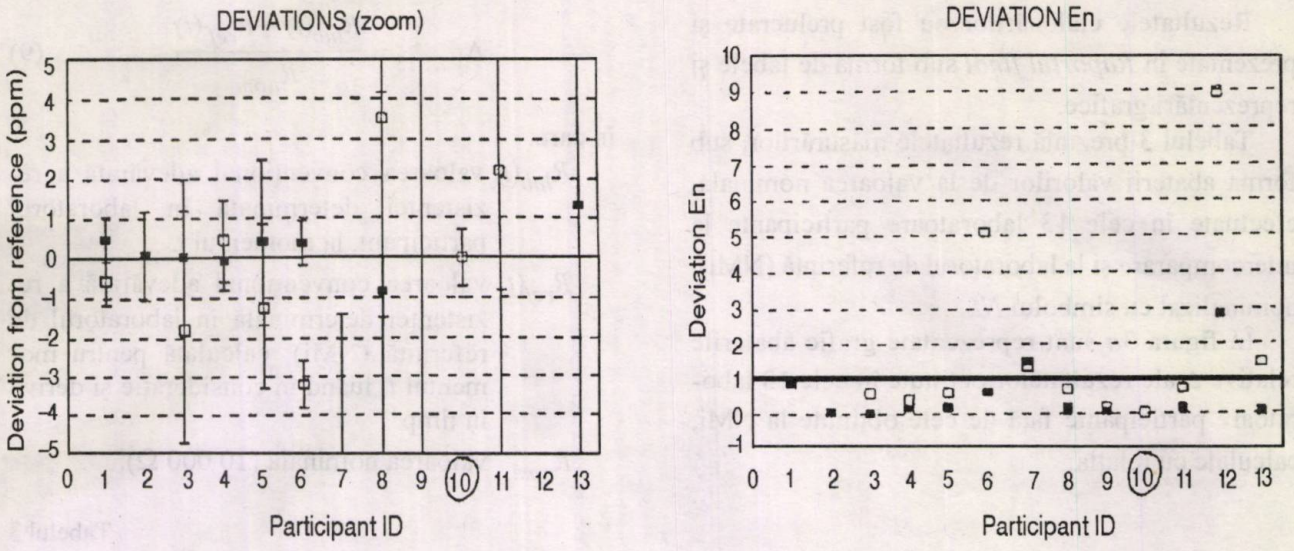
$R_{ref}(t)$ valoarea convenţional adevărată a rezistenţei determinată în laboratorul de referinţă (NMi), calculată pentru momentul t, luând în consideraţie şi deriva în timp

R_{nom} valoarea nominală (10 000 Ω).

Tabelul 3

Rezultatele măsurărilor

RESISTANCE					
ID	Date	R_{lab} – 10 kΩ (mΩ)	Test current (mA)	Temperature (°C)	Relative humidity (%)
NL	11 February	–22 ± 5	0,3	23,1 ± 0,5	41 ± 5
1	26 February	–27 ± 3	0,01	23,1 ± 0,3 22,8 ± 0,4	45 ± 5
2	31 March	–20 ± 10	0,66	22,5 ± 0,5	40 ± 10
3	10 March	–38 ± 29	1	23,0 ± 0,1	
NL	14 March	–20 ± 5	0,3	22,4 ± 0,5	43 ± 5
4	19 March	–16 ± 9	1	23,0 ± 0,5	31 ± 3
5	25 March	–32 ± 20	1	24 ± 1	30 ± 10
NL	5 April	–19 ± 5	0,3	22,4 ± 0,5	42 ± 5
NL	11 February	–16 ± 5	0,3	23,1 ± 0,5	41 ± 5
6	24 February	–48 ± 4	0,31	22,92 ± 0,01 22,93 ± 0,03	24 ± 1
7	3 March	–70 ± 40	0,8	20,0 ± 0,2	65 ± 20
8	10 March	20 ± 50	0,95	20,0 ± 0,2	60 ± 10
NL	14 March	–16 ± 5	0,3	22,4 ± 0,5	43 ± 5
9	19 March	$(2 \pm 12) \times 10^2$	0,22	20,0 ± 0,3	76
(10)	26 March	–15 ± 5	1	20,0 ± 0,5	30 ± 5 55 ± 5
NL	5 April	–14 ± 5	0,3	22,4 ± 0,5	42 ± 5
NL	11 February	0 ± 5	0,3	23,1 ± 0,5	41 ± 5
11	25 February	23 ± 30	1	23,00 ± 0,01	56 ± 5
12	5 March	$(-36 \pm 4) \times 10^1$	1	24 ± 1	51
NL	14 March	25 ± 5	0,3	22,4 ± 0,5	43 ± 5
13	25 March	$(25 \pm 17) \times 10^2$	0,4		
	5 April	2 ± 5	0,3	22,4 ± 0,5	42 ± 5



3*a* 3*b*

Fig. 3 Reprezentare grafică a rezultatelor intercomparării;
3*a* – abaterile relative Δ; 3*b* – abaterile E_n; 10 reprezintă numărul corespunzător laboratorului Mărimi Electrice din INM.

Notă: Tabelul 3 şi figura 3 prezentate aici sunt de fapt copiate direct din *Raportul final*, redactat în limba engleză.

Incertitudinea abaterii Δ a fost calculată cu relaţia:

$$U(\Delta) = \frac{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}{R_{nom}} \qquad (10)$$

în care:

U_{lab} incertitudinea extinsă a termenului $R_{lab}(t)$ aşa cum este dată în certificatul de etalonare

U_{ref} incertitudinea extinsă a termenului $R_{ref}(t)$.

În figura 3*b* rezultatele etalonării sunt prezentate sub forma reprezentării grafice a abaterilor E_n, determinate cu relaţia:

$$E_n = \frac{|R_{lab}(t) - R_{ref}(t)|}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \qquad (11)$$

Abaterea E_n poate fi considerată ca o măsură a echivalenţei dintre rezultatele măsurării în laboratoarele participante şi valorile de referinţă determinate la NMi-VSL. Pentru ca măsurările să fie considerate acceptabile, valoarea abaterii E_n trebuie să fie mai mică decât unitatea.

4 Concluzie

Examinând datele din tabelul 3 şi reprezentările grafice din fig. 3*a* şi 3*b*, se constată că rezultatele etalonării sunt practic echivalente cu valorile de referinţă determinate la NMi-VSL. Abaterea E_n este egală cu 0, dovedind calitatea măsurărilor şi echivalenţa cu valoarea de referinţă, fapt menţionat de altfel în [5].

Incertitudinea de etalonare ($0{,}5 \times 10^{-6}$) este de asemenea egală cu aceea de la NMi-VSL şi mult mai mică decât la celelalte laboratoare participante (cu excepţia laboratoarelor nr. 1 şi 6) şi decât valoarea considerată acceptabilă pe plan european la astfel de intercomparări, care este, conform [5], $< 5 \times 10^{-6}$.

Se poate afirma, deci, că laboratorul Mărimi Electrice din Institutul Naţional de Metrologie efectuează etalonări de înaltă exactitate, la nivelul laboratoarelor din ţările Uniunii Europene.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Popovici, G., Dragomir, L.*, Intercompararea unor etaloane din domeniul mărimilor electrice. Metrologia, nr. 2/1999

[2] *Liefrink, F.*, NMi Van Swinden Laboratorium, Measurement Instructions for National Institute of Metrology, Romania (25-26 March 1998), PRAQ III-WP1:Q11, Organisation of Measurement Intercomparison – Electrical Measurements. A project financed by the PHARE programme PRAQ III of the European Committee for Standardization (CEN)

[3] *Ilie, P., Ologeanu, N.*, Noi aparate de precizie pentru măsurarea rezistoarelor. Metrologia aplicată, nr. 2, 1983

[4] EAL-R2 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration

[5] *Liefrink, F.*, Organisation of Measurement Intercom... son – Electrical Measurements. FINAL REPO...

Workshop
„Moving from Legal to industrial Metrology“

Uniunea Europeană în colaborare cu EUROMET a lansat noul proiect PRAQ III intitulat „PEFIM“ – Pan European Forum on Industrial Metrology. În cadrul acestui proiect Physikalisch-Technische Bundesanstalt a organizat workshop-ul cu tema „Moving from Legal to industrial Metrology“, care se adresează managementului şi stafului institutelor naţionale de metrologie, organismelor naţionale de etalonări sau departamentelor guvernamentale care au responsabilităţi pe linie de metrologie.

Workshop-ul a avut loc în perioada 14 – 17 septembrie 1999, în Braunschweig, Germania şi au participat specialişti din ţările din Europa Centrală şi de Est din grupa C, din care fac parte: Albania, Bosnia, Bulgaria, Croaţia, Macedonia şi Romania. Structura workshop-ului a constat din prelegeri ale specialiştilor PTB sau a unor specialişti invitaţi, urmate de dezbateri, întrebări şi răspunsuri pe tema enunţată.

Tematica workshop-ului a fost următoarea:

- Prof. dr. *V. Kose*: Cerinţele esenţiale ale industriei. Discuţii
- Dr. *H. Bachmair*: Trasabilitatea şi comparaţiile interlaboratoare. Către Acordul de recunoaştere mutuală dintre institutule naţionale de metrologie. Discuţii
- Dr. *E. Fay*: Bazele competenţei tehnice ale laboratoarelor de etalonări şi încercări. Discuţii
- Dr. *W. Kessel*: Incertitudinea de măsurare. Discuţii
- Dr. *K. D. Sommer*: Etalonări, verificări. Discuţii
- Dr. *V. Stolz*: Sistemul calităţii şi acreditarea. Discuţii
- Prof. Dr. *E. Seiler*: Rolul colaborărilor internaţionale. Discuţii
- Dr. *P. Schultze*: Necesitatea planificării strategice. Discuţii

Dintre multele idei dezbătute la acest workshop merită menţionată una generală şi anume aceea că în metrologie trebuie să coexiste competiţia şi cooperarea. Competiţia conduce la eficienţă, calitate mai bună şi ea este un instrument eficace al motivării şi inovării, dar o competiţie excesivă în metrologie nu este benefică. O competiţie excesivă conduce la particularizare în gândire şi acţiune, la limitări şi separări între institutele naţionale de metrologie, la rezolvarea unor teme pe termen scurt. Cooperarea face posibilă acţiunea şi gândirea globală, solidaritatea şi dialogul. Cooperarea între institutele naţionale de metrologie conduce la integrare şi dezvoltare pe termen lung.

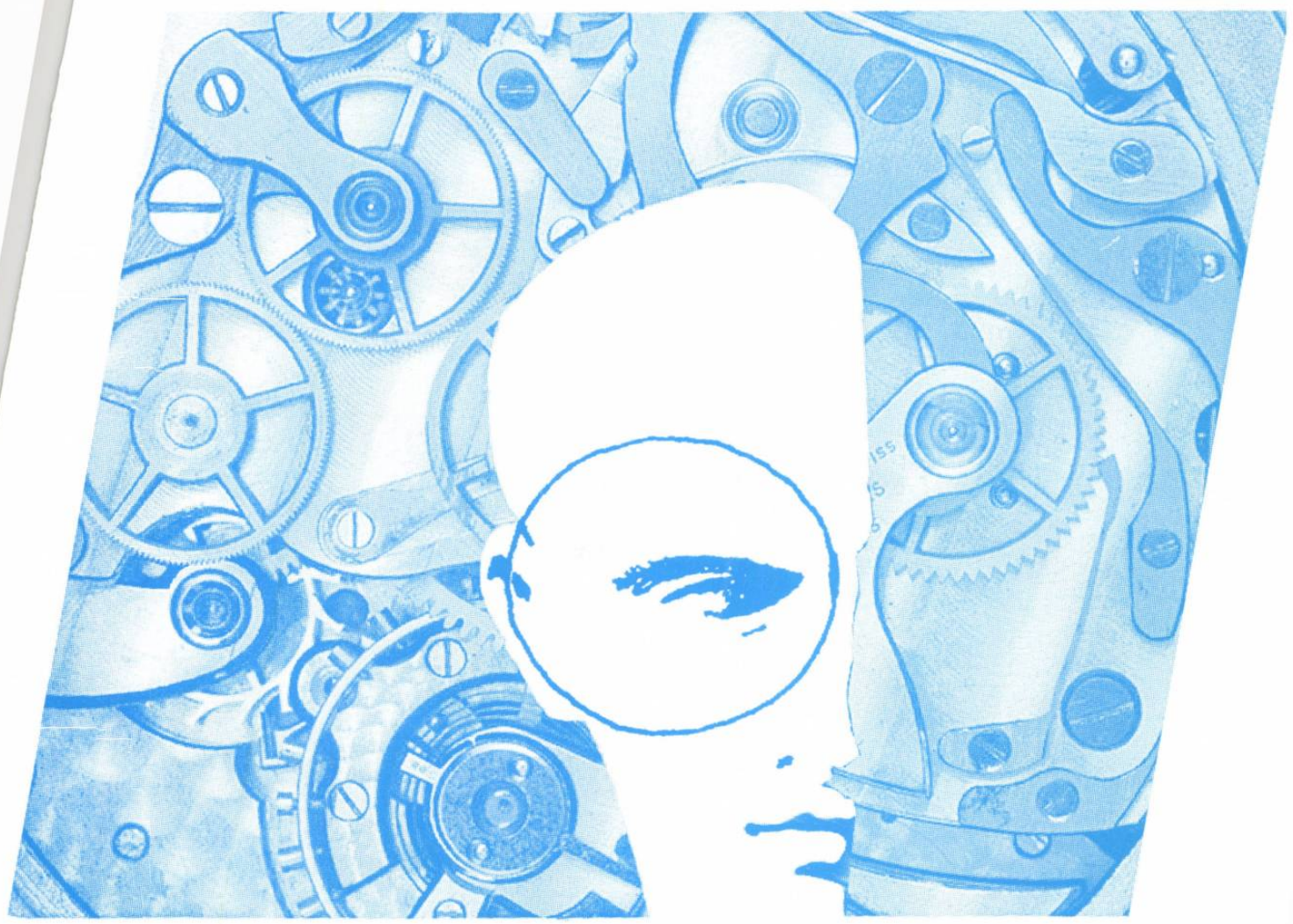
D. B.

ORSZÁGOS MÉRÉSÜGYI INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁR 1983

Workshop
„Moving from Legal to Industrial Metrology"

INVENTIKA '99

Expozitie internationala de inventii, cercetare stiintifica si tehnologii noi



12 - 16 Octombrie

ediția a III-a

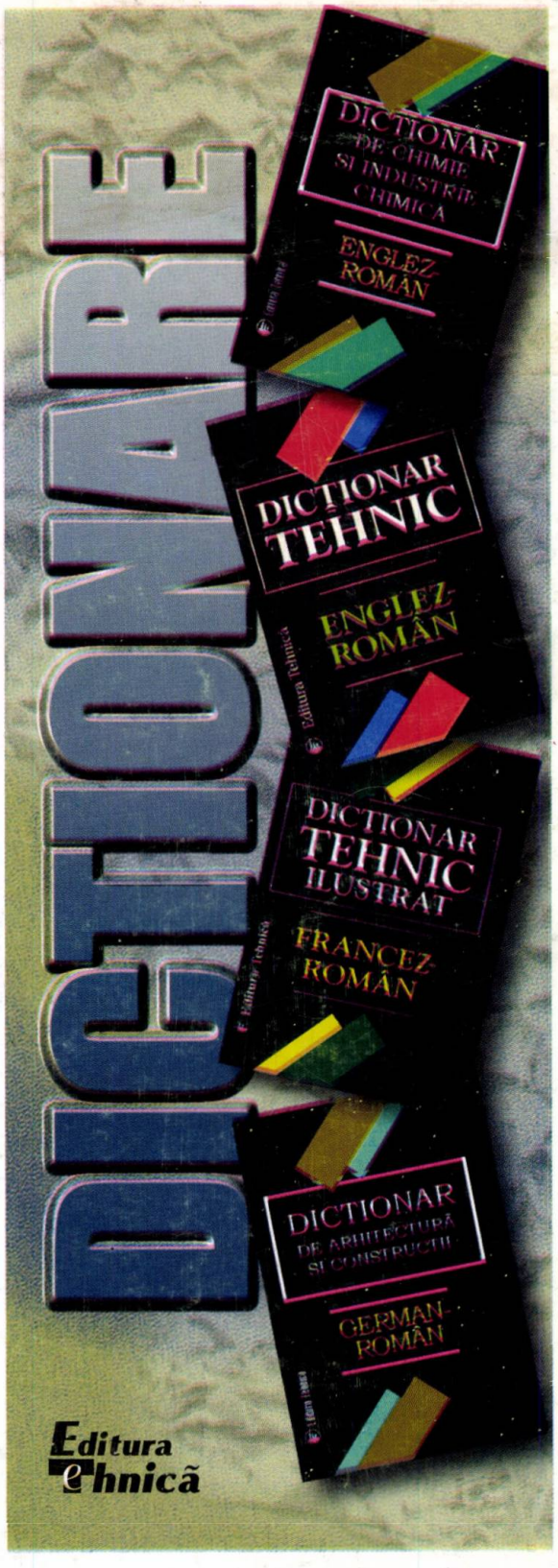
COMPLEXUL EXPOZITIONAL ROMEXPO
BUCURESTI - ROMÂNIA

COMPLEXUL EXPOZIȚIONAL romexpo BUCUREȘTI

Au apărut la
Editura Tehnică :

⇒ **Dicționar tehnic**
Englez - român

⇒ **Dicționar tehnic ilustrat**
Francez - român

⇒ **Dicționar de construcții și arhitectură**
German - român

⇒ **Dicționar de chimie și industrie chimică**
Englez - român